چکیده

در دهه های اخیر، به دلیل بحران انرژی در سراسر جهان و انتشار زیاد گازهای گلخانه ای، شاهد تحقیق و توسعه فعالیت های جهانی در زمینه انرژی های تجدید پذیر، به خصوص انرژی های بادی و خورشیدی هستیم. اگر چه تا کنون پیشرفت قابل توجهی به دست آمده است، طرح های فنی موجود هنوز برای استفاده از انرژی باد با سرعت کم و شرایط خاص مناطق شهری توسعه نیافته اند. توربین ساونیوس ویژگی های خوبی به منظور بهبود این شرایط دارد، ولی راندمان پایین نقطه ضعف بزرگی سر راه توسعه این توربین به حساب می آید. هدف ما از این پایان نامه، معرفی یک طراحی بهبود یافته از توربین ساونیوس متداول به منظور افزایش توان خروجی همزمان با کاهش حداقل سرعت باد مورد نیاز برای شروع چرخش روتور است که با اضافه کردن تنها یک نازل قابل دسترسی است. نازل همانند یک جت بر پره پیشرو اثر کرده و باعث تقویت جریان موثر روی این پره می شود، همزمان مانع برخورد سیال با پره بازگشتی شده و گشتاور معکوس را حذف می کند. بنابراین می توان انتظار داشت که ضریب توان افزایش یابد. بدین منظور، ابتدا یک نمونه آزمایشگاهی از توربین متداول ساونیوس را با نرم افزار انسیس-فلوئنت شبیه سازی کرده و بعد از اعتبارسنجی، به بررسی تاثیر نازل می پردازیم. با افزودن نازل، توربین قابلیت استقلال از مسیر وزش باد را از دست می دهد، ولی نصب چند نازل مشابه در سایر جهت ها حول توربین، باعث استقلال دوباره توربین از مسیر وزش باد می شود. تغییر نسبت ورودی به خروجی، شکل، تعداد و موقعیت نازل ها نیز قابل بررسی است، ولی هدف ما از این پایان نامه اثبات تئوری و عددی افزایش راندمان توربین متداول ساونیوس با اضافه کردن نازل است.

کلید واژه: نازل، توربین ساونیوس، انرژی بادی، ضریب توان، دینامیک سیالات محاسباتی

فهرست مطالب

چکیده I

فهرست جداول V

فهرست اشکال VI

فصل ۱

مقدمه ۱

۱-۱ انرژی های تجدید پذیر ۲

۱-۲ برخی از ویژگی های انرژی های تجدید پذیر ۵

۱-۳ آمار ۶

۱-۴ آینده انرژی های تجدید پذیر ۷

۱-۵ هدف از این پایان نامه ۹

۱-۶ نتیجه گیری و رئوس مطالب ۹

فصل ۲

مفاهیم بنیادی ۱۰

۲-۱ مقدمه ۱۰

۲-۲ تبدیل انرژی باد ۱۰

۲-۲-۱ توربین های محور افقی ۱۲

۲-۲-۲ توربین های محور عمودی ۱۴

۲-۳ ضریب بتز (Betz limit) ۱۷

۲-۳-۱ تئوری مومنتوم بتز ۱۷
۲-۴ اصول کارکرد توربین های ساونیوس استاندارد ۲۲
۲-۵ عملکرد توربین ساونیوس ۲۳

فصل ۳
مرور کارهای گذشته ۲۴
۳-۱ مطالعات تجربی توربین ساونیوس ۲۴
۳-۲ مطالعات عددی توربین ساونیوس ۲۷
۳-۳ روشهای بهبود عملکرد توربین ساونیوس ۳۰
۳-۳-۱ صفحه باد گیر ۳۰
۳-۳-۲ روتورهای دو یا سه مرحله ای ساونیوس ۳۰
۳-۳-۳ روتور ساونیوس با پره پیچ خورده ۳۱
۳-۳-۴ نصب صفحه در انتهای بالا و پایین ۳۳
۳-۳-۵ روتور ساونیوس اصلاح شده ۳۴
۳-۴ خلاصه ای از بررسی توربین ساونیوس ۳۵

فصل ۴
تحلیل تئوری ۳۷
۴-۱ مقدمه ۳۷
۴-۲ معادلات حاکم پس از نصب نازل ۳۸
۴-۳ تحلیل تئوری ۴۱

فصل ۵

بررسی عددی ۴۵

۵-۱ روش تفاضل محدود (FDM) ۴۶

۵-۲ روش حجم محدود (FVM) ۴۶

۵-۳ روش المان محدود (FEM) ۴۷

۵-۴ انتخاب مدل توربولانس در شبیه سازی روتور ۴۷

۵-۵ استفاده از تکنیک های محاسبات نرم در روتور ساونیوس ۵۱

فصل ۶

نتیجه گیری ۵۳

۶-۱ هندسه مسئله ۵۳

۶-۲ برریب استقلال از شبکه ۵۵

۶-۳ اعتبار سنجی ۵۶

۶-۴ نصب نازل در معرض جریان ۵۸

۶-۵ بهبود نسبی شکل نازل ۶۲

۶-۶ نمونه آزمایشگاهی ۶۶

۶-۷ جمع بندی ۶۷

منابع ۶۸

فهرست جداول

جدول ۳-۱ خلاصه روشهای بهبود عملکرد توربین ساونیوس ۳۶

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ بزرگ ترین توربین بادی جهان ۳

شکل ۱-۲ منابع انرژی تجدید پذیر جهان در سال ۲۰۱۳ ۴

شکل ۱-۳ منابع انرژی تجدید پذیر جهان در سال ۲۰۱۳ ۸

شکل ۲-۱ توزیع باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین ۱۱

شکل ۲-۲ توربین بادی محور عمودی ۱۳

شکل ۲-۳ نیروی درگ و جریان در توربین بادی محور عمودی ۱۴

شکل ۲-۴ نمونه ای از توربین داریوس کنار توربین های محور افقی ۱۵

شکل۲-۵ H-روتور ۱۶

شکل ۲-۶ شرایط جریان قبل و بعد از عبور سیال از توربین ۱۸

شکل ۲-۷ ضرایب توان توربین های بادی مختلف ۲۱

شکل ۲-۸ توربین بادی ساونیوس ۲۲

شکل ۲-۹ نقشه شماتیک توربین ساونیوس ۲۳

شکل ۳-۱ جریان درون و حول توربین ساونیوس ساکن a: میدان جریان تصویر برداری شده

b: جریان درون روتور c: میدان جریان d: توزیع فشار سطح ۲۵

شکل ۳-۲ جریان درون و حول توربین ساونیوس در جال چرخش

a: میدان جریان تصویر برداری شده b: جریان درون روتور c: میدان جریان d: توزیع فشار سطح ۲۶

شکل ۳-۳ ضریب گشتاور استاتیکی ۲۹

شکل ۳-۴ ضریب گشتاور دینامیکی ۲۹

شکل ۳-۵ توربین ساونیوس دو مرحله ای ۳۱

شکل ۳-۶ توربین ساونیوس با پره پیچ خورده ۳۲

شکل ۳-۷ ضریب توان توربین ساونیوس با پره پیچ خورده ۳۲
شکل ۳-۸ تاثیر صفحه انتهایی بر ضریب توان ۳۳
شکل ۳-۹ توربین ساونیوس اصلاح شده ۳۴
شکل ۳-۱۰ گشتاور استاتیکی برای توربین ساونیوس اصلاح شده ۳۵
شکل ۳-۱۱ مقالات چاپ شده در مجلات بین المللی در سالهای مختلف ۳۶
شکل ۴-۱ توربین ساونیوس در معرض جریان ۳۸
شکل ۴-۲ توربین ساونیوس پس از نصب نازل ۳۹
شکل ۴-۳ مولفه های جریان در حالت کلی ۴۱
شکل ۴-۴ مولفه های سرعت سیال هنگام برخورد به پره ۴۲
شکل ۵-۱ مقایسه نتایج مدل توربولانس استاندارد k-ε با نتایج آزمایشگاهی ۴۹
شکل ۵-۲ مقایسه نتایج مدل توربولانس RNG k-ε دو بعدی و سه بعدی با نتایج آزمایشگاهی ۵۰
شکل ۵-۳ مقایسه تفاوت نتایج مدل های توربولانس متفاوت با نتایج آزمایشگاهی ۵۰
شکل ۵-۴ مقایسه تفاوت نتایج ANFIS، فازی و RBF-ANN با نتایج آزمایشگاهی ۵۲
شکل ۶-۱ توربین ساونیوس ارائه شده در مقاله a: نمای سه بعدی b: نمای بالا ۵۴
شکل ۶-۲ a: دامنه محاسباتی و مدل رسم شده در نرم افزار Gambit
b: تصویر دو بعدی مش از وسط توربین ۵۴
شکل ۶-۳ بررسی استقلال از شبکه ۵۵
شکل ۶-۴ مقایسه ضریب گشتاور محاسباتی و آزمایشگاهی ۵۷
شکل ۶-۵ مقایسه ضریب توان محاسباتی و ازمایشگاهی ۵۷
شکل ۶-۶ a: نمای سه بعدی نازل b: نمای دو بعدی نازل مقابل روتور ۵۸

شکل ۶-۷ بردار سرعت پس از خروج سیال از نازل و برخورد با روتور چرخان ۵۹

شکل ۶-۸ ضریب توان توربین قبل و پس از نصب نازل ۶۰

شکل ۶-۹ عبور سیال حین چرخش روتور (تغییر زاویه) ۶۱

شکل ۶-۱۰ نصب دنباله در امتداد خروجی نازل ۶۲

شکل ۶-۱۱ بردارهای سرعت بعد از نصب نازل دنباله دار ۶۳

شکل ۶-۱۲ مقایسه ضرایب توان آزمایشگاهی، محاسباتی بدون نازل،پس از نصب نازل و با نازل دنباله دار ۶۴

شکل ۶-۱۳ نسبت افزایش توان تولیدی پس از نصب نازل ساده و دنباله دار ۶۵

شکل ۶-۱۴ توربین ساونیوس به همراه نازل در تونل باد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ۶۶

فصل ۱

مقدمه

با گسترش روز افزون جوامع انسانی و توسعه صنعتی جوامع مختلف، نیاز به منابع انرژی در حال افزایش است. فراهم کردن انرژی ارزان قیمت، مناسب و کافی برای ریشه کن کردن فقر، بهبود رفاه بشر، و بالا بردن استانداردهای زندگی در سراسر جهان امری ضروری است.

از سویی دیگر منابع فسیلی به عنوان اصلی ترین منابع تامین انرژی مورد نیاز بشر، رو به اتمام هستند، این منابع از نظر اندازه و مقدار محدود بوده و در ضمن آلاینده محیط زیست نیز محسوب می شوند. از این رو در سالهای گذشته، گرایش به استفاده از منابع نوین و تجدید پذیر انرژی رو به فزونی گذاشته است. یکی از ارزان ترین و سهل الوصول ترین این منابع، انرژی باد است. بررسی میزان استفاده از این انرژی در سال های اخیر به خوبی گویای اهمیت و جایگاه آن در تامین انرژی در سطح جهان است. از انرژی های بادی جهت تولید الکتریسیته و نیز پمپاژ آب از چاهها و رودخانه ها، آرد کردن غلات، کوبیدن گندم و مواردی نظیر اینها می توان استفاده نمود.

طبق قانون اول ترمودینامیک، انرژی نه تولید می شود و نه از بین می رود، بلکه از یک شکل به شکل دیگر تبدیل می شود. هرچند معمولا درباره مصرف انرژی صحبت می کنیم، اما در واقع انرژی مصرف نمی شود، بلکه تبدیل می شود و این توانایی های نفت، گاز، زغال سنگ، زیست توده[1] و یا باد برای تولید کار مفید است که مصرف می شود.

در این پژوهش به بررسی برخی از جوانب استفاده ازاین انرژی برای تامین بخشی از انرژی الکتریکی مورد نیاز بشر و همچنین چگونگی استفاده از این موهبت با توربین های بادی، نحوه ی عملکرد توربین بادی، ساختار توربین، محاسبه ی نیرو های وارده بر اجزا توربین مثل نیروهای دینامیکی و سیالاتی موجود و پرداخته و در نهایت، مدل بهینه ای از توربین بادی محور عمودی را ارائه خواهیم کرد.

[1] Biomass

۱-۱ انرژی های تجدید پذیر

بر خلاف سوخت های فسیلی، که تمام شدنی هستند، منابع انرژی تجدید پذیر احیا می شوند و می توانند به طور نامحدود و پایدار استفاده شوند. پنج منبع تجدید پذیر انرژی که بیشترین کاربرد را دارند، عبارتند از: زیست توده[۲] (از جمله چوب و ضایعات چوب، ضایعات جامد شهری، گاز دفن زباله، بیوگاز، اتانول و بیودیزل)، آبی[۳] (از جمله جزر و مد، پتانسیل آب و انرژی موج اقیانوس)، زمین گرمایی[۴]، باد[۵] و انرژی خورشیدی[۶].

استفاده از انرژی های تجدید پذیر موضوع جدیدی نیست. اولین کشوری که در دنیا از انرژی باد برای مصارف کشاورزی استفاده کرد، ایران بود که در این زمینه سابقه ای حدود از ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ سال دارد. استفاده از این انرژی بعداً از طریق ایران به دیگر سرزمین های اسلامی راه یافت و سپس اروپا و قاره امریکا و سایر نقاط جهان انرژی باد را مورد استفاده قرار دادند که در مصارف مختلف مانند پمپاژ آب وآبیاری، آسیاب نمودن غلات، تولید الکتریسیته، استفاده مکانیکی نظیر ارّه نمودن چوب، صنایع دستی و غیره به خدمت گرفته شد و بطور وسیعی مورد بهره برداری قرار گرفت.

کشور هلند در قرن ۱۴ پیشرفته ترین کشور در این زمینه بود و از این انرژی جهت آبیاری استفاده می نمود، اما دانمارکی ها اولین ملتی بودند که در زمینه تولید الکتریسیته از انرژی باد اقدام عملی نمودند. این کشور در سال 1890 از یک دستگاه توربین بادی جهت تولید الکتریسیته استفاده نمود.

با اغاز قرن بیستم اندیشه استفاده از انرژی باد و تبدیل آن به انرژی الکتریکی قوت گرفت و کشورهایی نظیر فرانسه، انگلیس، آلمان، ایالات متحده آمریکا و اتحاد جماهیر شوروی کوشش زیادی جهت توسعه توربین های بادی به عمل آوردند. در مباحث مربوط به انرژی باد بیشتر تاکیدات بر توربین های بادی مولد برق جهت اتصال به شبکه است؛ زیرا این نوع از کاربرد انرژی باد می تواند سهم مهمی در تامین برق مصرفی جهان داشته باشد. تخمین زده می شود که سهم انرژی باد در تامین انرژی جهان در سال 2020 تقریباً برابر با TWh ۱۲۰۰ درسال خواهد بود. این میزان انرژی با استفاده از توربین های بادی به ظرفیت

[2] Biomass
[3] Hydropower
[4] Geothermal
[5] Wind
[6] Solar

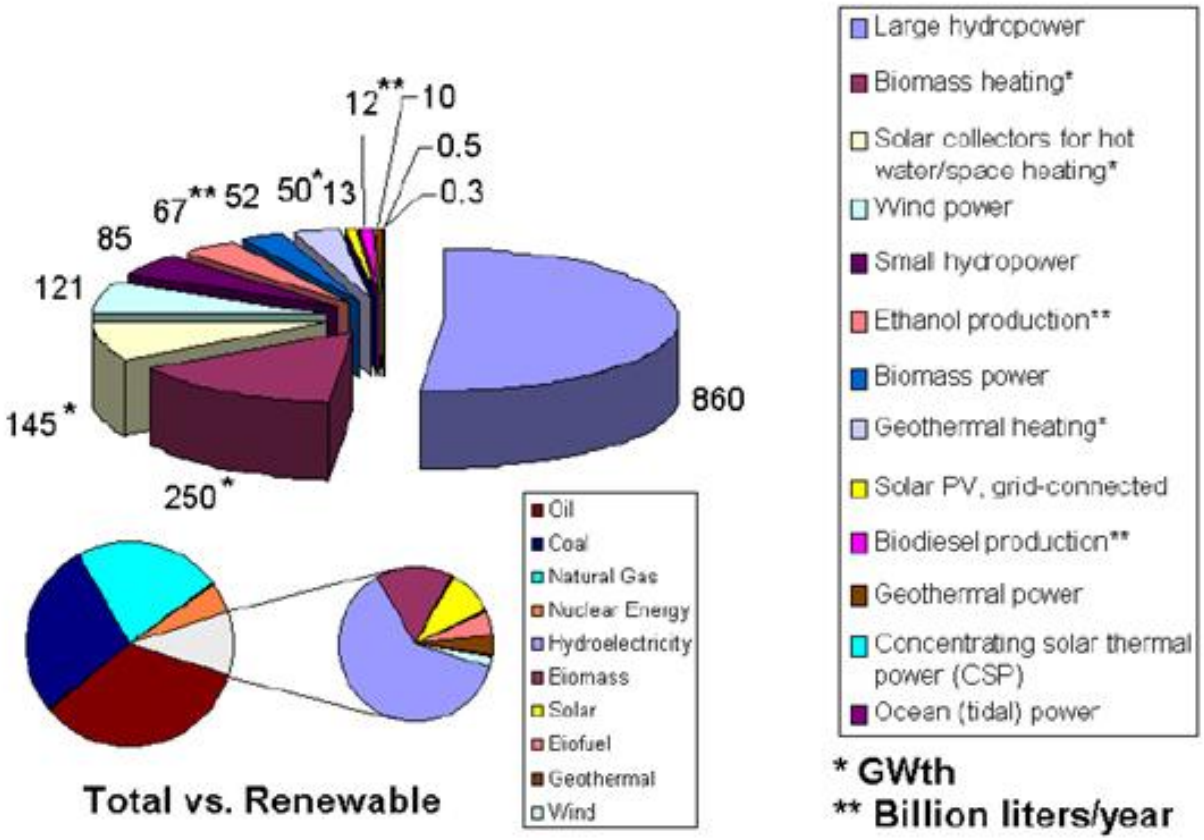
مجموع GW ۷۰۰ میسر خواهد شد. بطور کلی با استفاده از انرژی باد بعنوان یک منبع انرژی در دراز مدت می توان دو برابر مصرف انرژی الکتریکی فعلی را تامین کرد.

درحال حاضر ظرفیت استفاده از توربین های بادی در جهان بیش از 318,117 مگاوات است. دانمارک با حدود ۶۰ درصد بزرگترین کشور سازنده توربین های بادی و آلمان با تولید بیش از ۵۱۰۰۰ مگاوات برق از طریق این توربین ها بزرگترین استفاده کننده از آن است. شگل ۱-۱ بزرگترین توربین بادی جهان با قدرت ۸ مگاوات و با روتوری به قطر ۱۶۴ متر را نشان می دهد که در کشور دانمارک و توسط شرکت وستاس ساخته شده است و با ارتفاع ۲۲۰ متری خود، می تواند برق مورد نیاز بیش از ۵۰۰۰ منزل سه خانواری را تامین کند. بزرگترین شرکتهای سازنده توربین بادی جهان در حال حاضر شرکت وستاس، شرکت انرکون و شرکت NEG مایکون هستند که به ترتیب ۲۳/۳، ۱۴/۶ و ۱۲/۴ درصد از بازار جهان را در اختیار دارند.

شکل ۱-۱ بزرگ ترین توربین بادی جهان

بیش از ۱۵۰ سال پیش، چوب، که یکی از انواع زیست توده محسوب میشود، حدود ۹۰ درصد از نیازهای انرژی ما را تامین می کرده است. امروزه به منظور پیدا کردن راه های جدید برای برای کمک به تامین نیازهای انرژی مان، دوباره به منابع تجدید پذیر انرژی روی آورده ایم (شکل ۱-۲).

در سال ۲۰۰۶، حدود ۱۸ درصد از کل مصرف انرژی جهان از منابع انرژی تجدید پذیر تامین شد، که حدود ۱۳٪ آن را زیست توده سنتی و به طور عمده برای تولید حرارت و حدود ۳٪ را منابع برق آبی تشکیل می دادند. انرژیهای تجدید پذیر جدید (تاسیسات برق آبی کوچک، زیست توده مدرن، بادی، خورشیدی، زمین گرمایی و سوخت های زیستی) ۲,۴٪ باقی مانده را به خود اختصاص دادند، ولی سرعت رشد بالاتری نسبت سایر منابع کسب کردند [۱]. هم اکنون سهم انرژی های تجدید پذیر در تولید کل برق جهان نیز در حدود ۱۸٪ می باشد که حدود ۱۵٪ آن را برق آبی و حدود ۳,۴٪ را انرژیهای تجدید پذیر جدید به عهده دارند.



شکل ۱-۲ منابع انرژی تجدید پذیر جهان در سال ۲۰۱۳

در حالی که بسیاری از پروژه های انرژی تجدید پذیر در مقیاس بزرگ است، فن آوری های جدید توجه ویژه ای به برنامه های خارج از شبکه کوچک به خصوص در مناطق روستایی و دور افتاده که انرژی نقش بسیار مهمی در توسعه انسانی ایفا می کند، مبذول داشته اند.

در گذشته، هزینه تمام شده انرژی تجدید پذیر طی مراحل تولید و استفاده به طور کلی گزاف تر از سوخت های فسیلی تمام می شد. منابع تجدید پذیر اغلب در مناطق دور افتاده قرار دارند، و ساخت خطوط برق برای انتقال انرژی تولید شده توسط این منابع به شهرهای نیازمند این انرژی ها، هزینه زیادی دارد.

عدم دسترسی دائم به منابع انرژی تجدید پذیر، واقعیتی است که منجر به اعمال محدودیت های زیادی شده است. تولید انرژی خورشیدی در روزهای ابری کاهش می یابد؛ روز آرام نیروی تولید شده توسط باد را کاهش می دهد؛ و خشکسالی آب قابل دسترس برای تولید برق آبی را با مشکل مواجه می سازد.

۱-۲ برخی از ویژگی های انرژی های تجدید پذیر

انرژی تجدید پذیر در اصل فن آوری تولید برق پاک و بدون تشعشع است. برخی از خواص مهم تبدیل انرژی تجدید پذیر را می توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- اثر گلخانه ای

اولا، تبدیل انرژی تجدید پذیر طی فرآیند تبدیل، منجر به تولید کربن دی اکسید (عامل اصلی گازهای گلخانه ای) نمی شود و در طی مراحل ساخت تجهیزات و جمع بندی و نصب آن نیز مقدار بسیار کمی گاز گلخانه ای تولید می شود. در مقابل، سوخت های فسیلی مانند ذغال سنگ، نفت و گاز عوامل عمده تصاعد کربن دی اکسید به حساب می آیند.

- آلودگی هوا

همچنین انرژی های تجدید پذیر اثر مثبتی بر کیفیت هوایی که تنفس می کنیم دارند. در اثر احتراق سوخت های فسیلی، گوگرد دی اکسید و نیتروژن اکسید که هر دو منبع جدی آلودگی به حساب می آیند، تولید می شوند. همین گازها عامل اصلی تاثیرات "باران اسیدی" هستند که علاوه بر اثرات جبران ناپذیری بر سلامت انسان، منجر به نابودی جنگل ها، آلودگی منابع آب و از بین رفتن نمای سنگی ساختمان ها می شوند.

- آب

یکی دیگر از جنبه های به کارگیری انرژی های تجدید پذیر مرتبط با مسئله آب است. در شرایطی که جهان به طور فزاینده ای با مشکل کمبود آب شیرین مواجه است، انرژی های تجدید پذیر طی مراحل تبدیل تقریبا هیچ نیازی به این قطرات با ارزش ندارد. بسیاری از فن آوری های متعارف، از استخراج معادن گرفته تا خنک کاری نیروگاه ها روزانه چند میلیون لیتر آب مصرف می کنند.

- اثرات زیست محیطی

انرژی های تجدید پذیر مسلما پاک ترین فن آوری تولید برق است، اما مانند هر صنعت دیگر اثرات زیست محیطی خاصی نیز دارد. ساخت و ساز و بهره برداری به خصوص در مناطق روستایی، مسائل مربوط به تاثیرات بصری، سر و صدا و اثرات بالقوه بر محیط زیست محلی و حیات وحش را تحت تاثیر قرار می دهد. از زمان شروع به کار این صنعت نسبتا جوان، توجه ویژه ای به مکان های قرار گیری مزارع بادی و طراحی و ساخت توربین مبذول شده و پیشرفت های چشمگیری نیز در این زمینه صورت گرفته است.

دیگر اثرات زیست محیطی ناشی از طیف وسیعی از سوخت هایی است که در حال حاضر برای تولید برق استفاده می شود. این اثرات شامل خطرات و تخریب محیط ناشی از اکتشاف سوخت های فسیلی و استخراج معادن، آلودگی ناشی از نشت اتفاقی نفت و خطرات بهداشتی مرتبط با مدیریت مواد زائد و اشعه تولید شده طی عملیات معمول چرخه سوخت هسته ای می باشد. بهره برداری از منابع تجدید پذیر انرژی، کاهش این ریسک ها و خطرات را به دنبال خواهد داشت.

۱-۳ آمار

همانطور که قبلا نیز به طور مختصر اشاره شد، منابع انرژی تجدید پذیر عبارتند از: انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی، انرژی باد، انرژی امواج جزر و مد و زیست توده[۲]. در این قسمت به ارائه خلاصه ای از آمار و ارقام انرژی های بادی و خورشیدی به عنوان مهم ترین این انرژی ها می پردازیم.

- انرژی خورشیدی

هر سال زمین حدود ۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ کیلوژول انرژی از خورشید دریافت می کند. مقداری از این انرژی توسط گیاهان سبز جذب شده و طی فرآیند فتوسنتز تبدیل به مواد غذایی می شود. به عبارتی، خورشید منشا بسیاری از منابع انرژی از جمله سوخت های فسیلی به

حساب می آید. باد نیز به طور غیرمستقیم از تابش خورشید به وجود می آید. انرژی خورشیدی باعث بروز فرآیندهایی در اتمسفر شده و موجبات پیدایش باد را فراهم می کند [۲].

- انرژی باد

هنگامی که نور خورشید به کره زمین می تابد، زمین مقداری از این تابش را جذب کرده و هوای بالای خود را گرم می کند. هوای گرم به دلیل آنچه جریانات انتقالی نامیده می شود، بالا میرود و به دلیل تابش نا متوازن نور خورشید، باد شکل می گیرد. به عنوان مثال، اگر اشعه خورشید به زمین و دریا بتابد، زمین سریع تر گرم می شود و به تبع آن هوای بالای خود را نیز گرم کرده و باعث می شود که این هوا سریع تر از هوای بالای دریا حرکت کند. در نتیجه هوای نسبتا خنک تر بالای دریا به منظور پر کردن شکاف ناشی از حرکت هوای بالای زمین، به سمت زمین حرکت می کند و باد شکل می گیرد.

انرژی باد آلاینده محیط نیست و در بسیاری از مناطق آزادانه در دسترس است. توربین های بادی روز به روز کارآمد تر می شوند و هزینه برق تولیدی آنها را در حال کاهش است [۳]. با این حال، انرژی باد معایبی نیز دارد. به منظور بالا بردن کارآمدی، توربین های بادی نیاز دارند با هم در ارتباط باشند، که اغلب ۲۰ توربین یا بیشتر در کنار یکدیگر، یک مزرعه بادی را تشکیل می دهند. تشکیل مزرعه بادی امر ناخوشایندی به نظر می رسد و می تواند پر سر و صدا باشد. همچنین این مزارع باید اندکی به مناطق پر جمعیت نزدیک باشند تا بتوان برق تولید شده را به راحتی توزیع نمود.

نقطه ضعف دیگر انرژی بادی این است که بادها متناوب هستند و همیشه نمی وزند [۲]. در این پایان نامه، توربینی که برای تبدیل انرژی باد استفاده می شود، به منظور بهبود قدرت خروجی به طور گسترده ای بهینه سازی می شود.

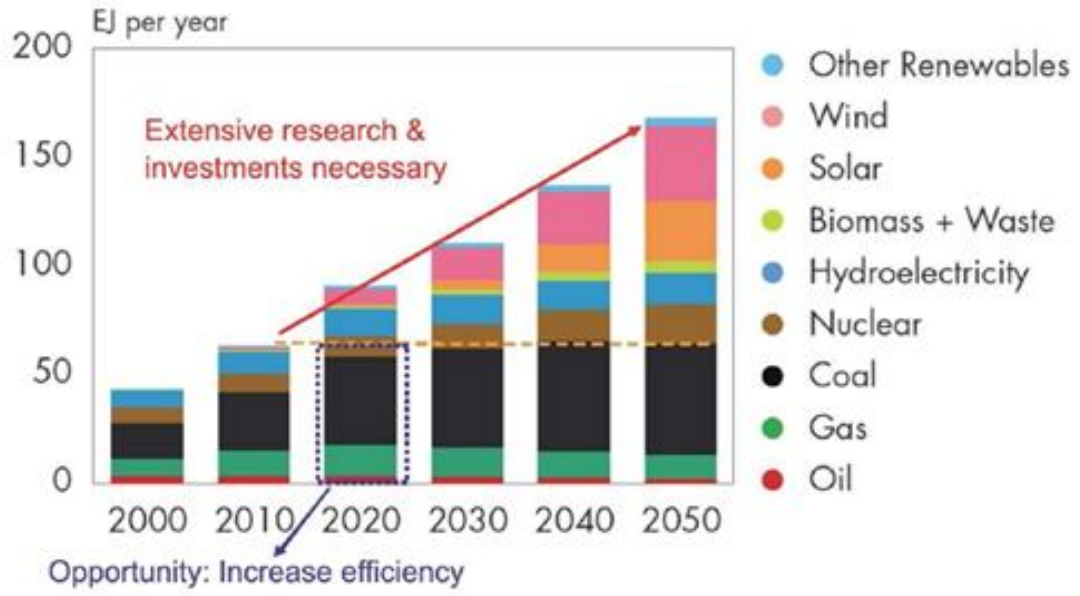
۱-۴ آینده انرژی های تجدید پذیر

تقاضای انرژی به طور مداوم در سراسر جهان در حال رشد است و با توجه به پیش بینی های آژانس بین المللی انرژی[۷]، انتظار می رود تا سال ۲۰۳۰ حدود ۵۰٪ نیز افزایش یابد. در حال حاضر، بیش از ۸۰ درصد از انرژی اولیه مورد نیاز بشر توسط سوخت های فسیلی تامین می شود. اگر چه ذخایر کافی برای چند دهه بعدی موجود است، ولی مسلماً جوابگوی مصرف انرژی دراز مدت جهان نخواهد بود.

[7] International Energy Agency

با توجه به تغییرات آب و هوایی و افزایش میزان کربن دی اکسید در اتمسفر و کمبود محسوس سوخت های فسیلی، واضح است که عرضه انرژی در آینده تنها می تواند از طریق افزایش استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر انرژی تضمین گردد. با بازیافت انرژی از منابع تجدید پذیر مانند خورشید، باد، آب، جزر و مد، انرژی زمین گرمایی و یا زیست توده می توان چندین برابر تقاضای جهانی انرژی را تامین کرد. با این حال، هنوز فناوری استفاده از این منابع انرژی به تکامل نرسیده و انرژی بازیافت شده از منابع تجدید پذیر بیش از حد گران هستند.

با بررسی بازار انرژی در چند سال گذشته، افزایش قیمت سوخت های فسیلی در آینده نیز قابل پیش بینی است، در حالی که با پیشرفت روزافزون فناوری در زمینه انرژی های تجدید پذیر، انتظار کاهش قیمت تمام شده این انرژی در آینده نزدیک می رود. در برخی مناطق امروزه نیز انرژی های تبدیل شده باد، آب و خورشید از لحاظ اقتصادی توان رقابت با سوخت های فسیلی را دارند. با این حال، برای حل معضل انرژی و محیط زیست، علاوه بر جایگزینی اقتصادی منابع تجدید پذیر با سوخت های فسیلی، باید برای بهینه سازی کل ارزش افزوده زنجیره ای انرژی، از تبدیل و توسعه گرفته تا ذخیره سازی و انتقال به دست مصرف کننده، برنامه ریزی کرد. به دلیل جمعیت در حال رشد جهان، تلاش هرچه بیشتر برای رفاه و آسایش، نوآوری و افزایش بهره وری در تمام زمینه ها هم زمان با کاهش کلی مصرف انرژی به منظور رسیدن به اهداف پیش بینی شده سازمان جهانی انرژی، امری ضروری است (شکل ۱-۳) [۴].



شکل ۱-۳ منابع انرژی تجدید پذیر جهان در سال ۲۰۱۳

۱-۵ هدف از این پایان نامه

بهینه سازی توربو ماشین های انرژی های تجدید پذیر یک موضوع کاملا جدید است. در حالی که مطالعات گسترده ای روی اکثر توربو ماشین ها مثلا توربین های گازی صورت گرفته است، توربو ماشین های مورد استفاده برای تبدیل انرژی باد هنوز در مرحله بسیار ابتدایی تحقیقات می باشند. هدف ما از ارائه این پایان نامه، بررسی و بهینه سازی یکی از این توربو ماشین ها (توربین ساونیوس) است.

بدین ترتیب که با نصب یک نازل، گشتاور معکوس اعمالی از طرف سیال روی پره برگشتی را از بین برده و با تقویت برخورد سیال با پره پیشرو، در صدد افزایش ضریب توان توربین هستیم.

۱-۶ نتیجه گیری و رئوس مطالب

این فصل یک مقدمه کوتاه در زمینه تبدیل انرژی تجدید پذیر و اهمیت آن در زندگی انسان فراهم می کند. در فصل ۲، همراه با بحث و بررسی جزئیات تبدیل انرژی باد، به بحث در مورد توربین ساونیوس که اساس کار ما را تشکیل می دهد، خواهیم پرداخت. فصل سوم به مرور کارهای گذشته و تحقیقات انجام گرفته و تاثیر هرکدام بر راندمان توربین ساونیوس اختصاص خواهد یافت. تحلیل تئوری توربین و و روابط سیالاتی حاکم قبل و بعد از نصب نازل در فصل ۴ بررسی خواهند شد. روشهای مختلف حل عددی و ویژگی ها و شرایط استفاده از هرکدام نیز در فصل ۵ بحث خواهد شد. و درنهایت فصل ۶ نیز به نتیجه گیری و تحلیل نتایج اختصاص خواهد یافت.

فصل ۲

مفاهیم بنیادی

۲-۱ مقدمه

استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی مسئله جدیدی نیست؛ در طول تاریخ، بشر از انرژی های تجدید پذیر برای تامین نیازهای خود بهره جسته است. ولی پس از انقلاب صنعتی، زمانی که زغال و زغال سنگ به طور فزاینده در زندگی و پیشرفت بشر به ایفای نقش پرداختند، شرایط تغییر کرد. بعدها نیز، نفت خام اهمیت خود را به دست آورد. مزایایی چون حمل و نقل و فرآوری آسان، نفت خام را تبدیل به یکی از اساسی ترین حامل های انرژی در دنیای مدرن کرد.

پس از آن که سوخت های فسیلی به طور فزاینده ای برای تولید انرژی، حداقل توسط کشورهای صنعتی مورد استفاده قرار گرفتند، استفاده از انرژی های تجدید پذیر کاهش یافت؛ به نحوی که علاوه بر چند مورد استثنا، استفاده از انرژی های تجدید پذیر در تولید انرژی از اهمیت ثانویه برخوردار بود. با این حال، استفاده از حامل های انرژی فسیلی شامل یک سری از عوارض جانبی نامطلوب بوده که با افزایش حساسیت جوامع صنعتی نسبت به مسئله محیط زیست، محبوبیت این سوخت نیز کاهش یافته است. به همین دلیل جستجوی جایگزینی مناسب، سازگار با محیط زیست و قابل قبول از نظر اجتماعی که جوابگوی تقاضای انرژی بشر نیز باشد، به طور فزاینده ای مهم است.

همچنین با توجه به افزایش قابل توجه قیمت سوخت های فسیلی در بازار جهانی انرژی در چند سال گذشته، امیدها و انتظارات در خصوص ایجاد فرصت های متعدد جهت استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی بالا رفته است. با توجه به این زمینه، با هدف ارائه اصول فیزیکی و فنی برای استفاده از انرژی باد به ارائه این فصل می پردازیم.

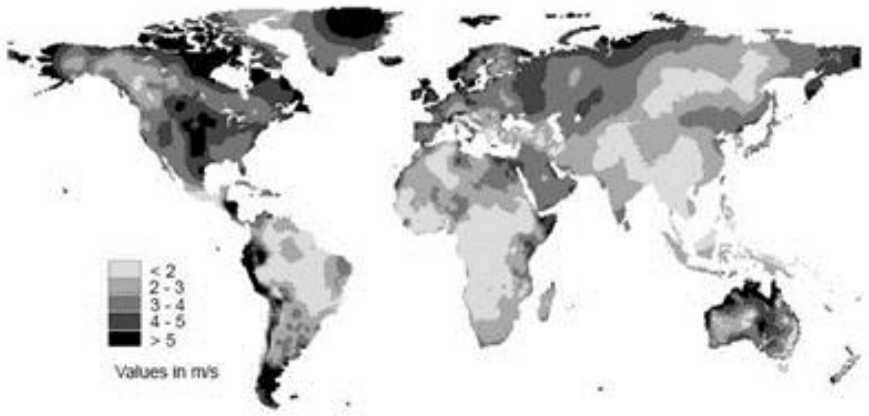
۲-۲ تبدیل انرژی باد

تابش خورشید باعث حرکت توده های هوا در جو زمین می شود. از کل تابش خورشیدی در لایه بیرونی اتمسفر، حدود ۲٫۵٪ برای جنبش جوی مورد استفاده قرار می گیرد. بر این اساس، برونت، کل توان موجود دراتمسفر سرتاسر زمین را 3×10^{17} KW تخمین زده است. در مقام مقایسه، کل پتانسیل آبی زمین

فقط 5×10^{8} KW است. البته تمام انرژی بالقوه باد قابل بهره برداری نیست. تخمین زده می شود که انرژی در دسترس توربین های بادی محدود به پایین ترین لایه اتمسفر بوده و حدود 2×10^{10} KW باشد.

استفاده از انرژی باد با ظرفیت نصب شده از ۱۵۷۹۰۰ مگاوات در سراسر جهان در سال ۲۰۰۹ با نرخ حدوداً ۳۰٪ در سال در حال رشد است [۵] و به طور گسترده ای در اروپا، آسیا و ایالات متحده مورد استفاده قرار می گیرد. سرعت باد اندازه گیری شده را می توان مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و مقدار متوسط سالانه را محاسبه کرد. اگر میانگین سالانه سرعت باد در طول سال های مختلف ثبت شود، می توان نقشه مناطق با سرعت باد مشابه را رسم کرد.

شکل ۲-۱ این مقادیر را در یک مقیاس جهانی و با ارتفاع ۱۰ متر از سطح زمین را نشان می دهد.



شکل ۲-۱ توزیع باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین

توربین های بادی وظیفه بهره برداری از انرژی جنبشی موجود در توده های روان هوا را بر عهده دارند. در ادامه، به بحث حول اصول اساسی فیزیکی این نوع تبدیل انرژی می پردازیم.

اکثر توربین های بادی مدرن به منظور استخراج انرژی باد به روتور های چند تیغه ای مجهز هستند. انرژی جنبشی استخراج شده از باد برخوردکرده به توربین، شفت روتور را به چرخش در آورده و در نتیجه به انرژی مکانیکی تبدیل می شود. توان مکانیکی شفت که به صورت گشتاور با سرعت زاویه ای به خصوصی

است، به ژنراتور منتقل می شود. فلذا، کل نیروگاه های بادی شامل یک مبدل انرژی باد (روتور)، یک چرخ دنده ی مکانیکی و یک ژنراتور است.

بنا به قانون دوم ترمودینامیک، بهره برداری از کل انرژی باد غیر ممکن است. در حالت کلی، دو روش متفاوت فیزیکی برای استخراج توان از باد وجود دارد. روش درگ که بر اساس نیروی درگ اعمالی از طرف سیال در حال گذر از روی یک سطح، بخشی از انرژی موجود در باد را استخراج می کند، و روش لیفت که از طریق نیروی لیفت اعمالی به ایرفویل می تواند قسمتی از انرژی جنبشی موجود در باد را مهار کند. در حال حاضر نیز عمدتا از روش لیفت برای تبدیل انرژی باد استفاده می شود. به منظور بررسی تفاوتها، ابتدا به ارائه خلاصه ای از هر دو روش می پردازیم.

به دلیل بروز محدودیت های تکنولوژیکی پره توربین بادی معمولی، پیاده سازی یک روش کنترل آیرودینامیکی نوآورانه به طور گسترده ای تحت بررسی است. تقریبا تمام تلاش ها در صنعت توربین بادی، در زمینه آیرودینامیک است و هدف، ارائه پره هایی با عملکرد بهتر و قابلیت اطمینان بیشتر و به تبع آن، کنترل مطمئن تر و سریع تر توربین های بادی بزرگتر است[۶]. حال به بحث در مورد حداکثر توان قابل استخراج از باد توسط یک مبدل ایده آل انرژی باد می پردازیم.

۲-۲-۱ توربین های محور افقی

این ها همان توربین های استانداردی هستند که در حال حاضر استفاده می شوند. طبق روش لیفت، باد به منظور تولید نیروی محیطی در داخل روتور منحرف می شود (شکل۲-۲). برای مبدل های پروانه مانند با سرعت بالا، پره های روتور عمدتا با توجه به تئوری بال طراحی می شوند.