مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه‌ی توربین‌های بادی اینولکس

اشکان مخصوص[1*]، زهرا شعبانی[1]، ستاره یافتیان[1]، محمدرضا براتی[1] و مجید خانعلی[2]

۱- دانشجویان کارشناسی ارشد رشته مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- مجید خانعلی، عضو هیئت علمی گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

* ایمیل نویسنده مسئول: ashkan.makhsoos@ut.ac.ir

چکیده

نام اینولکس[1] از ۲ واژه ی افزایش[2] و سرعت[3] گرفته شده است این نام به معنی افزایش سرعت باد می‌باشد که مزایای تازه‌ای را وارد بازار تولید انرژی می‌کند و از سال ۲۰۰۷ پا به عرصه‌ی صنعت تولید توان از باد نهاده است. در مقاله پیش رویتان ابتدا به تشریح و توضیح پیرامون اجزای ساختمان سامانه‌های اینولکس شامل دهانه ورودی، طراحی مجراها و قسمت تولید برق پرداخته-ایم. پس از بررسی کلی مزایا و تفاوت‌های این نوع توربین با توربین‌های معمول به شرح آنها پرداخته ایم، یکی از مهمترین ویژگی‌های این نوآوری وجود دهانه‌ی ورودی باد است،که در هرجهتی که بوزد آن را دریافت می‌کند، با این حساب از سامانه‌های گرداننده‌ی توربین بی‌نیاز می‌شویم. پس از آن به مرور مطالعات صورت گرفته می‌پردازیم، شامل قسمتی که سیستم را با چند توربین مجهز نموده اند و یا چند دهانه برای یک سامانه تعبیه شده بود. و در نهایت به آینده‌ی روشن این فناوری در دنیای انرژی-های پاک اشاره می‌نماییم.

واژه‌های کلیدی: انرژی باد ، دریافت انرژی ، توربین بادی ، مجرای توربین ، افزایش سرعت باد

[1]- Invelox

[2]- Increase

[3]- Velocity

مقدمه

تولید انرژی الکتریسیته از وزش باد

مشکلات توربین‌های معمول

بهره‌گیری از انرژی باد سابقه‌ای هزاران ساله در تاریخ بشریت دارد، تبدیل این انرژی به انرژی های جنبشی، مکانیکی و سرمازایی کاربردهای تاریخی این پدیده ی طبیعی را نشان می‌دهند. تا اینکه در قرن هیجدهم میلادی تبدیل انرژی باد به الکتریسیته نیز مطرح می‌شود.(JN, 2011) پیدایش اولین توربین بادی محور عمودی توسط ایرانیان ۳۰۰۰سال پیش بوده و تاکنون توربین های بادی متعددی اختراع شده‌اند. در ابتدا از انرژی باد تنها برای عملکردهای القایی مانند حرکت قایق با استفاده از بادبان، خنک سازی خانه با سیال هوای بیرونی و... استفاده می شده است، در اواخر قرن ۱۸۰۰ و در ۱۹۰۰ میلادی تبدیل انرژی باد به برق نقطه عطفی درصنعت تولید برق به کمک باد بوده است، تا اینکه بحران انرژی و افزایش قیمت نفت و گاز طبیعی و کاهش سوخت‌های فسیلی و افزایش روزافزون گرمایش جهانی و تغییرات بدون برگشت اقلیم آب و هوایی از انرژی های تجدیدپذیر از جمله انرژی باد و... به عنوان منابعی تمیز و برگشت پذیر و سازگار با محیط زیست بیش از پیش مورد توجه قرار گرفتند. امروزه با تمام این پیشرفت ها استفاده کامل از انرژی باد امکان پذیرنیست. با پیشرفت توربین‌های معمولی در دو دهه‌ی گذشته بیشترین توان خروجی از توربین های بادی با تیغه های بزرگ حاصل می‌شود که در مقابل هزینه‌ی نصب و استقرار توربین‌ها در مراتع بزرگ نیز باید در نظر گرفت (Allaei *et al*, 2015). در سه دهه اخیر پیشرفت‌های زیادی در زمینه‌ی گسترش استفاده از انرژی باد وجود داشته اما همچنان هزینه‌ی تولید این نوع انرژی توان رقابت با انرژی های فسیلی را ندارد. با وجود بالا بردن ظرفیت توان با زیاد کردن قطر روتور و ارتفاع برج توربین‌ها هنوز هم عواملی چون پایین بودن ظرفیت، خرابی بیش از حد و هزینه‌ی تعمیر و نگهداری، قابلیت اعتماد و سرمایه گذاری تأمین برق از انرژی باد بوسیله توربین های معمول را به چالش می کشند. همچنین زمان لازم برای انجام تعمیرات در صورت آسیب دیدگی، با در نظر گرفتن این موضوع که خرابی توربین ها ۲ تا ۳ هفته به طول می‌انجامد این خرابی‌های طولانی ناشی از زیرسیستم های متنوع درونی این توربین‌ها می‌باشند مثلا یاو سیستم یا مکانیزم‌های کنترل پره ها و یا ژنراتورهایی که در ارتفاع حدود صدوپنجاه متری زمین با وزن سنگین خود جای گرفته اند و در این مدت تولید انرژی در توربین به صفر می‌رسد که خسارت زمانی این مقدار نیز باید به هزینه های تعمیر و نگهداری اضافه شود، همچنین تاثیر نیروگاههای بزرگ بادی روی محیط زیست و حیات وحش و سلامت انسان و آلودگی صوتی و از طرفی تأثیر بر ظاهر منطقه‌ی قرار گیری نیروگاه باید مدنظر باشد.

نوآوری در ساخت توربین‌ها

توربین های بادی معمول معایبی چون؛ در معرض خرابی بیش از حد و بالا بودن هزینه‌ی تعمیر و نگهداری ، آسیب به سلامت انسان بدلیل سروصدا و نویزهایی که تولید می‌کنند داشته و همچنین منظره‌ای نامتناسب با محیط زیست این مزارع بادی ایجاد می‌کنند. دانشمندان نوآور در حال گسترش و مطالعه روی تکنولوژی‌های نوین و ساخت توربین‌های جدید در این عرصه می‌باشند که در میان این ایده‌های نویی از نوع توربین‌های محور عمودی نیز قرار دارند(Ambrosio and Medaliga,2010) ، توربین‌های هوابرد گونه دیگری از توربین‌های جدید می‌باشند که ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر بالاتر از سطح زمین قرار می‌گیرند (Kamini N.Shelke, 2012) و توانایی دریافت و تبدیل انرژی بادهای شدیدی را که در ارتفاع بالا در حرکت‌اند را دارند. توربین‌های یک یا چند کاناله(Allaei *et al*, 2015;Grant A, 2003) نوع دیگری از توربین‌های جدید می باشند، که توربین های یک کانال برای برنامه‌های کاربردی کوچک مقرون به صرفه و موثر هستند اما با بزرگ شدن مقیاس غیر اقتصادی می باشند به همین خاطر نیاز به کانال بزرگتر و سرعت بالاتر احساس می‌شود حتی با وجود اینکه صفی از توربین‌ها می توانند انرژی الکتریکی بیشتری تولید کنند اما در اجرا در اندازه واقعی پیچیدگی زیادی دارد این نوع توربین ها در بالای یک برج نصب می‌شوند با بزرگتر شدن حجم پروژه، هزینه نصب و نگهداری را هم افزایش خواهد داد.

توربین‌های اینولکس

بهره گیری از سه اصل جذب، سرعت و متمرکزکردن باد ویژگی‌های بی‌مانندی را در توربین‌های اینولکس ایجاد نموده است. که این اصول در بخش‌های مختلف از جمله دریافت کننده باد و لوله‌های انتقال دهنده و همچنین تبدیل به الکتریسیته سودمند و کارآمد هستند. به عنوان مثال در مورد جذب باد در توربین‌های اینولوکس با در نظر گرفتن ورود باد از هرجهتی که بوزد انتظار می-رود قسمت بزرگی از هوا وارد توربین شود و با توجه به طراحی هوشمندانه و استفاده از خاصیت ونتوری می‌توانند حتی در مکان-هایی که سرعت باد تنها بیش از ۱ متر بر ثانیه باشد بنا شوند. اینولوکس منفعلانه انرژی پتانسیل و جنبشی را به انرژی جنبشی بیشتری تبدیل می‌نمایدکه می‌تواند موثرتر از چرخش مکانیکی پره در توربین‌های معمول و سنتی باشد. با افزایش نرخ جرم ورودی سیال می‌توان میزان توان تولیدی را افزایش داد(Allaei D, 2013). در تکنولوژی اینولکس بدلیل وجود پوشش توربین ها از سروصدا توربین کاسته می شود. برج بلندی که در توربین‌های معمول وجود دارد حذف شده و دریافت کننده باد دارای ارتفاع کمتری می باشد، همچنین در بالای دریافت کننده‌ی باد اجزای متحرکی وجود ندارد و بنابراین اصطکاک و هزینه‌های نصب و انتقال کاسته می‌شود و از طرفی نمای بهتری در طبیعت خواهد داشت چرا که حتی برخی از قسمت‌های این توربین می توانند در زیر سطح زمین جای بگیرند.

برتری‌های توربین اینولکس

توربین های اینولکس دارای ویژگی هایی است که باعث تمایز آن با توربین های سنتی می باشد. برخی از این ویژگی‌ها عبارتند از این‌که ورودی و توربین، مستقل هستند و این به آن معناست که اندازه دهانه ورودی ممکن توسط عواملی همچون نسبت سرعت مورد نیاز و شرایط محیطی تنظیم می شود و بازه استفاده از انرژی باد با سرعت‌های مختلف بالاتر می‌رود. پس می‌توان از یک توربین اینولکس معمولی انتظار داشت توانی در بازه‌ی ۵۰۰W تا ۲۵ MW تولید نماید. جدا بودن قسمت ورودی با قسمت ژنراتور توربین بادی همچنین جدا بودن قسمت دهانه ورودی با قسمت ونتوری باعث می‌شود سرعت باد درون مجرا به جریان باد ورودی از هوا را تا ۶ برابر یا بالاتر ببرد.(Hang, 2013) تیغه‌های کوچکتر در سرعت های بالاتر که منجر به صرفه جویی در هزینه ، مواد، تولید، حمل و نقل، نصب و راه اندازی می شود از دیگر مزایای این توربین‌هاست. از سوی دیگر دهانه‌ی ورودی به گونه‌ای طراحی شده که در تمامی جهات جریان هوا گرفته می‌شود و دیگر نیازی به موتور و بلبرینگ‌های بزرگ برای جابه جایی توربین به سمت باد نیست.

با جدا بودن ورودی و توربین از هم میتوان گفت که جرم هوای ورودی زیاد می شود و در نتیجه توان خروجی آن افزایش می‌یابد. هزینه تعمیر، نگهداری این نوع توربین‌های بادی در مقایسه با توربینهای بادی سنتی بسیار پایین است. سرمایه گذاری اولیه کمتر در مقایسه با نیروگاه‌های بادی سنتی از دیگر مزایای اینولکس است. اینولکس فاقد هرگونه آلایندگی زیست محیطی است و ایمنی کامل در مراحل استفاده از وجود دارد، نداشتن صدا ، نویز و هرگونه قسمت گردنده در بالای دکل از دیگر مشخصات این سیستم نوین تامین انرژی سبز است. مکانیزم عملکرد توربین اینولکس دارای ایمنی کامل در بهره برداری می‌باشد. هزینه تولید برق از این روش، معادل یک پنجم هزینه های توربین‌های بادی سنتی است و این روش نسبت به استفاده از سوخت‌های فسیلی در چرخه تولید برق، پنجاه‌درصد صرفه اقتصادی به همراه دارد. توربین اینولکس قابلیت احداث در مساحت کمتر و ارتفاعات پایینتر را دارد. استفاده از این توربین می‌تواند از هدر رفت منابع نفتی و گازی کشور جلوگیری کرده و طرح مفیدی برای استفاده از انرژی در خاورمیانه و ایران ترسیم نماید. تولید ۶۰۰ درصد کیلووات انرژی الکتریکی بیشتر، کار در سرعت‌های پایین باد حدود نیم متر بر ثانیه و در کلاس های باد پایین (کلاس ۱و۲) (توربین‌های سنتی به سرعت ۳ متر در ثانیه یا بیشتر، نیاز دارند). کاهش هزینه سرمایه گذاری نصب به کمتر از ۷۵۰ دلار در هر کیلووات (مخارج سرمایه گذاری تا ۴۳٪ کمتر) افزایش ظرفیت تولید انرژی تا ثبت رکورد بالای ۷۲٪ وامکان بهره‌برداری همزمان از سه توربین موازی. امکان تعمیر و نگهداری ایمن و سریع توربین‌های سطح زمین، کاهش هزینه های بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری تا ۵۰ درصد کمتر، کاهش مدت از کارافتادگی مقاومت جوی در برابر تغییر شدید دما یا یخ زدگی، و کاهش مدت از کار افتادگی (سرپوشیده بودن پره‌ها)، محصور شدن سروصدا و ارتعاش در داخل کانال، برطرف شدن مرگ و میر پرندگان، اثرات منفی و سروصدا و سوسو زدن نورخورشید که در اثر حرکت پروانه ایجاد می‌شد را به همراه دارد. استفاده از مساحت زمین تا ۹۰ درصد کمتر از مساحتی که برای توربین‌های معمولی نیاز بود. امتیاز زیبایی محیطی،

با فرم و شکل کوتاه‌تر و قابل تزئین به شکل درخت عدم تداخل در امواج رادارِ سیستم های هوانوردی و نظامی از دیگر مزایای این توربین‌هاست. (Allaei, 2015 ; P.Balaji, 2008; GLOBAL STATUS REPORT, 2015)

در نهایت می‌توان عنوان کرد که قابلیت تولید انرژی برق در توربین‌های اینولکس در مقایسه با توربین‌های بادی معمولی حدود ۶ برابر است، کارکرد در سرعت پایین باد، احداث در مساحتی کمتر از ۱۰ درصد مساحت مزارع بادی معمولی و کار در ارتفاع پایین‌تر و همچنین ۵۰ درصد پایین‌تر بودن هزینه‌های تعمیر، نگهداری و سرمایه گذاری اولیه از جمله مزایای این فناوری است. (Sukumar, 2015)

تولید برق اقتصادی و به صرفه از باد

اگرچه مشوق‌های مالیاتی و یارانه‌های دولتی برای کاهش هزینه‌ی تولید برق از طریق باد بسیار تلاش کرده‌اند، اما با این وجود باز هم تولید برق به روش سنتی از ذغال سنگ و گازطبیعی ارزانتر است. یکی از بهترین خصوصیات توربین اینولکس کاهش هزینه‌ی تولید برق از طریق باد می‌باشد. توربین‌های اینولکس کوچکتر از توربین‌های معمولی بوده و ذخیره انرژی را می توانند به ۱۶ تا ۳۶ مگاوات ساعت برساند . هزینه ی نصب ۷٪ تا ۴۳٪ کمتر از توربین های سنتی خواهد شد و ۴۰٪ تا ۴۵٪ کمتر از راه‌اندازی نیروگاه بادی و تعمیر و نگهداری کمتری نسبت به مزارع سنتی مرسوم می‌باشد. بالاجی[4] در تحقیقات خود بوسیله شبیه ساز و مدل‌های کامپیوتری (sheer wind) نشان می‌دهد که تکنولوژی اینولکس توانی ۳ برابر توان توربین های سنتی و مرسوم تولید می کند . اینولکس به ازای هر کیلووات ساعت هزینه‌ی کمتر و قابل رقابت با توربین های سنتی و گاز طبیعی دارد . (P.Balaji, 2008)

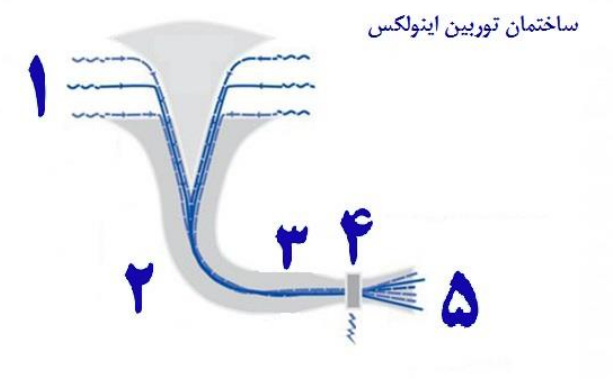
در تحقیقات دیگری که در زمینه اقتصادی انجام شده اینولکس از طریق دمنده چندوجهی یا یک سویه خود به تصرف سرعت بخشیدن و متمرکز کردن باد می پردازد سرعت باد در نزدیکی توربین ۲ تا ۵ برابر سریع تر از سرعت جریان آزاد باد است. و این خود نویدی برای اجرای طرح‌های کاربردی در داخل شهرها است، چرا که مشکلاتی نظیر آلودگی صوتی و ظاهری را ندارد و علاوه بر آن متناسب با سرعت باد پایین در سطح شهر می‌باشد. پس می‌توان در ساختمان‌هایی از قبیل فروشگاه‌های خرده فروشی، مراکز خرید، مراکز داده، و ساختمان های اداری (بسیار بسیار شبیه به یک دودکش) از آن‌ها استفاده نمود. بر اساس مطالعات پروفسور آندره پولوس هزینه های اولیه اینولکس پتانسیل کاهش هزینه تولید برق را تا ۳۵٪ در هر کیلووات ساعت و کاهش ۴۵٪ در هزینه های تعمیر و نگهداری را دارد. (Andreopoulos,2012)

4- P.Balaji

ساختار و مکانیزم های توربین‌های اینولکس

اجزاء توربین اینولکس

به طور خلاصه توربین‌های اینولکس از پنج بخش اصلی تشکیل می‌شوند که در شکل۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱: اجزای اصلی توربین اینولکس

همانطور که در شکل۱ می‌بینید این اجزا عبارتند از:

دهانه ورودی (۲) لوله حامل، (۳) قسمت ونتوری، (۴) سامانه تبدیل انرژی باد به الکتریسیته، (۵) پخش کننده .

اصول کار توربین‌های اینولکس

طرز کار اینولکس بدین صورت است که ابتدا انرژی باد توسط یک دهانه ورودی قیف مانند جذب و پس از آن درون یک مسیر مخروطی شکل به پایین هدایت می شود . این مسیر مخروطی علاوه بر وظیفه‌ی هدایت باد به پایین با کمک اثر ونتوری موجب افزایش سرعت باد نیز می شود . سپس انرژی جنبشی باد پس از برخورد به پره های توربین، ژنراتوری را که در پایین توربین قرار دارد به گردش در آورده و برق تولید می شود. نصب ژنراتور در سطح زمین ایمن و مقرون به صرفه بوده و تعمیر و نگهداری آن آسانتر خواهد بود. انتقال جریان باد از بالای برج اینولکس به سطح زمین و افزایش سرعت آن در طول مسیر مخروطی شکل موجب میشود طول پره‌های توربین بادی اینولکس کوچک باشند. همچنین در سیستم اینولکس می‌توان دهانه‌های چندین توربین را به صورت شبکه‌ای به هم متصل نمود و با این‌کار از یک ژنراتور واحد استفاده بهتری کرد. (Allaei *et al*, 2013)

دهانه ورودی از دو مخروط تو در تو تشکیل شده است. مخروط بالا راهنمای هدایت باد به مخروط پایین تر است. ورودی توربین اینولکس نیز با چهار باله که تحت زاویه ۴۵درجه نسبت به هم قرار دارند پوشیده شده، این باله‌ها به هم افزایی عملکرد ورودی در گرفتن جریان بیشتر از جریان آزاد کمک می‌کنند. دهانه‌ی قیف مانند با طراحی خاص خود باعث گرفتن باد در تمامی جهات و

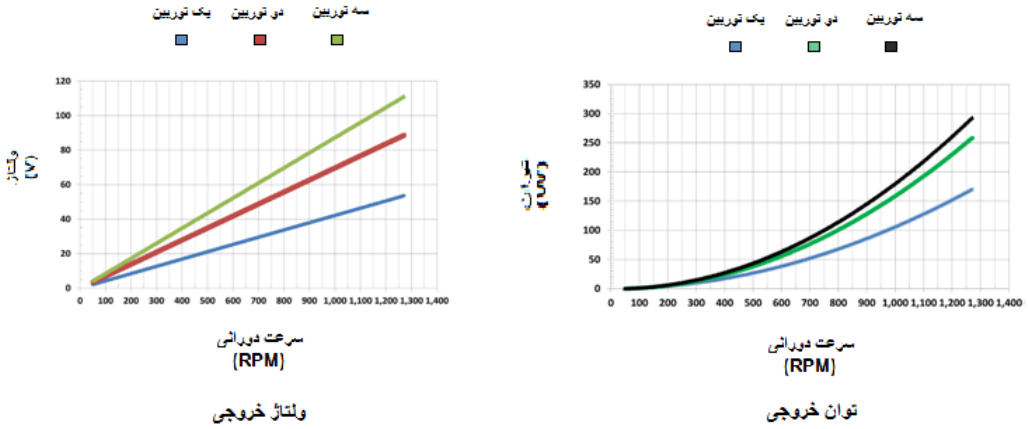
افزایش سرعت آن می‌گردد که این ویژگی باعث می شود که برای هر سرعت نیاز به تغییر اندازه دهانه نباشد و چون توربینی در بالای برج موجود نیست این امکان را برای ما فراهم می‌کند که ارتفاع و سطح کمتری را اشغال کنیم و همچنین در زمان و هزینه برای نصب ، تعمیر و نگهداری توربین صرفه جویی شود. توربین داخلی اینولکس دارای ضریب قدرت بالاتری از توربین‌هایی است که در یک محیط جریان باز نصب می‌شوند (Sukumar, 2015). توربین افقی یا عمودی استاندارد را می‌توان در داخل اینولکس نصب کرد و در مقایسه با سیستم های جریان باز به طور قابل توجهی انرژی بیشتری تولید نمود. حالت ونتوری در توربین اینولکس در اصل با یک پله در مجرا ایجاد می‌شود که می‌تواند سرعت بسیار پایین باد در محل را با افزایش سرعت در داخل توربین جبران نماید. این ویژگی نه تنها توان باد دردسترس را زیاد می‌کند بلکه تولید انرژی سالانه و ضریب ظرفیت کاری توربین را نیز افزایش می‌دهد.

تحقیقات کاربردی

استفاده از چند توربین در مجرای اینولکس

اینولکس منفعلانه انرژی پتانسیل و جنبشی را به انرژی جنبشی بالاتر تبدیل می‌کند. با افزایش نرخ جرم ورودی سیال می‌توان میزان توان تولیدی را افزایش داد. بنابراین در صورتی‌که ۳ توربین در بخش ونتوری قرار بگیرند هر ۳ می توانند قدرت باد را مهار کنند و نیازی به استفاده از تجهیزات زیر ساختی اضافه‌تر هم نخواهد بود. البته توربین دوم و سوم دسترسی کمتری به انرژی باد در مقایسه با توربین اول خواهند داشت. با استفاده از سه توربین در بخش ونتوری می توان میزان توان و ولتاژ خروجی را افزایش داد. این کار تجربی استفاده از توربین‌های متعدد در سالهای ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ در منطقه چاسکا و مینه سوتا انجام گرفت ارتفاع برج استفاده شده ۱۸,۳ متر و قطر قسمت ونتوری ۲ متر بود. در این تحقیق ابتدا برای اطمینان از یکسان بودن عملکرد سه توربین میزان قدرت و ولتاژ برای هریک از توربین‌ها جداگانه محاسبه شده سپس عملکرد دو توربین همزمان بررسی شده است که با اینکه دو ولتاژ تابعی از سرعت چرخش ژنراتور مربوط هستند به نظر می رسد به صورت خطی با افزایش سرعت ژنراتور افزایش یافته اند. ژنراتور پایین دست به صورت مداوم ولتاژ کمتری نسبت به ژنراتور بالادست تولید می‌کند و همین‌طور قدرت تولید شده در توربین بالادست بیشتر است. در استفاده از دو توربین قدرت تولیدی ۷۰٪ افزایش می‌یابد و این به دلیل قدرت و میزان جریان کمتر ورودی به توربین دوم است. نمی توان انتظار داشت که با استفاده از دو توربین میزان قدرت دو برابر شود. در هنگام استفاده از سه توربین میزان قدرت ۹۰٪ نسبت به دو توربین افزایش یافت البته با اینکه استفاده از توربین های متعدد بهتر است با رسم نمودار مشخص می شود که این اثرات غیرخطی است و در نهایت به یک حالت پایدار می رسد و افزایش بیشتر توربین تاثیر قابل ملاحظه‌ای در

افزایش قدرت نخواهد داشت. (Allaei D. T., 2015) شکل۲ نشان می‌دهد که رابطه افزایش ولتاژ نسبت به سرعت دورانی خطی است. این بدین معنی است که ولتاژ به تعداد توربین‌ها مرتبط بوده و مستقل از سرعت ژنراتور و سرعت باد است. اما در توان به دست آمده دو فاکتور سرعت باد و سرعت ژنراتور موثر است همچنان با افزایش بیشتر توربین نمی‌توان، توان را به طور قابل ملاحظه ای افزایش داد و توان با رسیدن به عدد خاصی ثابت خواهد ماند.



شکل۲

مدلسازی توربین اینولکس

برای ارزیابی توربین‌های اینولکس اعلائی و همکارانش از دو روش مدل سازی در نرم افزارهای انسیس[5]و کمسل[6] استفاده کرده‌اند. با تحلیل دو مدل مشخص می‌شود که نتایج آنها بسیار به هم نزدیک است و برتری توربین های اینولکس با مکنده های چند وجهی نسبت به توربین‌های سنتی هم اندازه خود را تصدیق می‌کند. یعنی در صورت استفاده از توربین‌های سنتی با همان ابعاد در مکانیزم اینولکس توان بیشتری به ما خواهد داد.(Allaei *et al* 2013)

5- Ansys

6- comsol

نتیجه گیری

بیان نتیجه

توربین‌های اینولکس نتیجه‌ی بازنگری عمیقی از مشکلات طراحی و اقتصادی انرژی باد در توربین های پیش از خود می‌باشد، بنابراین سیستم های انرژی بادی امروزی با عملکرد توربین‌ها بهبود یافته‌اند(P.Balaji, 2008) و اینولکس راه‌کاری جدید برای استفاده از نیروی باد می‌باشد، عملکرد بهتر توربین‌های اینولکس نسبت به توربین‌های سنتی با همان ضخامت و قطر و مشخصات آیرودینامیکی در شرایط بادی یکسان نمایان‌گر آن است که با هزینه‌ی کمتر می‌توان انتظار خروجی توان بالاتری را داشت (Allaei *et al* 2015). نخستین نوآوری اینولکس حذف برج بلند توربین‌های بادی سنتی است، که به خودی خود تکامل مهمی در نسل توربین‌های بادی بوده و این جای خالی با طراحی ساختار به نسبت پیچیده‌ی مکانیکی جبران می‌گردد، دومین نوآوری شکل خاص مهار جریان باد در مجرای مکش این توربین‌هاست که توانایی آن را دارد که در تمامی جهات باد را با هر سرعتی به دام بیندازد و نیاز توربین را از گیرنده و فرستنده به عملگر و پیش کنترل مکانیزم یاو[۷] بر طرف می‌کند. سومین مزیت آن داشتن قسمتی با از توربین با بهره گیری از خاصیت ونتوری می‌باشد که باعث ایجاد شتاب در جریان باد می‌شود و پس از گرفتن انرژی آن بوسیله ژنراتور توسط یک پخش کننده درمحیط آزاد می شود. این سه مشخصه‌ی متمایز کننده این توربین‌ها نشانگر پیشرفت در این صنعت می‌باشند که در مقابل توربین های سنتی سنگین، گران، پرخرج، کم‌بازده و مضر برای انسان ها و پرندگان قرار می-گیرند(Allaei *et al* 2015). محفظه‌ی پوشش توربین‌ها موجب کاهش صدای تولیدی ناشی از برخورد سیال هوا با پره‌های توربین می‌باشد، استفاده از ورودی هوای چندگانه دریافت سیال در گردش باد و بالابردن سرعت اسمی هوا به کمک طراحی خاص مجرا از جمله ویژگی های مثال زدنی این توربین‌هاست.

استفاده از مجرای مکش چند وجهی باعث افزایش تصرف هوا و جذب هوای بیشتری می‌شود. پس اینولکس حساسیت کمی نسبت به جهت باد دارد. بین توربین های سنتی و اینولکس مقایسه‌هایی صورت گرفت و در شرایط مشابه انجام شد(درضمن یک مقایسه-ی معنی دار و خوب همیشه بین دو نمونه بسیار مشکل است) به عنوان مثال همیشه مقایسه‌ها به پارامترهای ورودی بستگی دارد و متغیرهای غیرمستقل اثرات دو سیستم را نشان می دهند و انتخاب متغیرهای وابسته یا ثابت‌ها عملکرد دو سیستم را نشان می-دهند، به طوری که تغییر متغیرهای مستقل در زمان بستگی به متغیر خروجی دارد. انتخاب قطر توربین به سرعت‌های متفاوت باد بستگی دارد، تا موقعیتی‌که توان خروجی مناسب حاصل شود. به عنوان مثال سنجش اندازه‌گیری‌های میدانی که نشان‌دهنده‌ی سیستم تولید توان توربین اینولکس بود نسبت به توربین‌های سنتی با همان اندازه انرژی بیشتری تولید می‌کنند. اینولکس دارای پتانسیل بالقوه است و دارای ارزش زیادی برای توسعه‌ی بیشتر است. همراه با تمام تکنولوژی‌های جدید قدرتمند ظاهر می‌شود و با

7- yawcontrol

تمام احتمالات نابودی مقابله می‌کند. یکی از دلایل بدبینی نسبت به اینولکس نگرانی‌های مربوط به از بین رفتن سرمایه می‌باشد با تمام پیشرفت‌های این سیستم بادی و حتی با وجود عملکرد مثبتی که نشان داده باز هم سرمایه گزاری دراین بخش نیاز به تجربه و اعتماد بیشتر به این صنعت دارد. . نیازهای دلخواه در ساختار اینولکس با باد را می توان حذف کرد زیرا که گیرنده و فرستنده‌ی مجرای مکش و تمام اجزای چرخشی و دوار بر روی سطح زمین قرار دارند که درنتیجه دارای عملکرد ساده و تعمیر و نگهداری آسانی می‌باشند. اگر یک توربین سنتی را در داخل اینولکس قرار دهیم می‌بینیم که افزایش مقاومت موجب کاهش سرعت جریان خروجی می شود و اگر توربین دیگری در پس توربین اول قرار دهیم دیگر نمی توان وعده داد که توربین دارای عملکرد بهتری باشد. البته لازم به ذکر است که برای سیستم جریان باز سنتی این روش درست است(Allaei and Andreopoulos,2014). جریان آزاد باد می‌تواند سرعتش تا حدی کاهش دهد که اجازه ی ورود به توربین را داشته باشد، این کاهش می‌تواند به نصف یا دو سوم برسد ، وابستگی محیطی و مقطع پره ها فاکتور مهمی است. در این مدل مجرای مکش توربین در درون اینولکس نشان می دهد ، لزوم بقای جرم در ناحیه‌ی میانگین باقی مانده‌ی سرعت و جریان پایین در طول توربین ثابت جزء عبوری مجرای لوله است.

راهکارها و پیشنهادات

از آنجایی که فناوری اینولکس با بهره گیری از سه اصل جذب، سرعت و متمرکزکردن باد توانایی تحصیل باد با سرعت‌های پایین‌تر و در هر جهتی را دارد و می‌توان با اتکا به پیشرفت‌هایی که در زیر ساخت‌های آن از جمله علوم مواد، طراحی مهندسی، ساخت قطعات مکانیکی و الکترونیکی به وجود آمده و همچنان در مسیر پیشرفت است، انتظار داشت که راندمانی قابل رقابت با سوخت‌های فسیلی دریافت کنیم و از طرفی راه حلی مناسب برای مشکلات فراوان زیست محیطی داشته و از طرف دیگر تولید انرژی بیشتری داشته باشیم.

یکی از مشکلاتی که در راه پیشرفت این نوع توربین‌ها قرار دارد ناتوانی در بزرگ‌تر کردن حجم این توربین‌هاست مسئله از این مشکل فنی در طراحی آغاز می‌شود که برای پیاده سازی اندازه‌ی دهانه‌ای بزرگ و با بیشترین بازده برای کانال‌های توربین در مقیاس بزرگ در جهت وزش باد به مشکل می‌خوریم، چرا که دانستیم دهانه‌ی این توربین به گونه‌ای است که باد را از هرجهتی به دام می‌اندازد، حال تصور نمایید که دهانه‌ای با قطر چندین متر داریم نمی‌توان ادعا کرد که به راحتی باد را از هر جهتی به دام می-اندازد طراحی یک دهانه چند وجهی با کارایی دهانه‌ای که با قطر کمتر امکان پذیر بود دیگر میسر نیست؛ علاوه بر این در توربین-های بزرگتر مجرایی با ارتفاع زیاد نیاز دارد که منجر به افزایش پیچیدگی فنی و همچنین افزایش هزینه می‌شود. حال با در نظر گرفتن مزایای این توربین‌ها از جمله بی سر و صدا بودن و قابلیت استتار در مناطق مختلف و قابل کنترل بودن و همچنین عدم نیاز به وزش باد شدید. می‌توان در مناطق مسکونی و شهرهای بزرگ و کوچک با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و جوی منطقه به

طراحی و ساخت این توربین‌ها اقدام نمود. با افزایش تعداد آنها مشکل تولید توربین‌های بزرگ حل می‌شود و از آنجا که دیگر نیازی به انتقال انرژی برق در مسیرهای طولانی نیستیم، هم هزینه‌ی زیرساخت انتقال برق را نخواهیم داشت و هم شاهد افت انرژی کمتری در مسیر انتقال از محل تولید به مصرف خواهیم بود. چرا که به عنوان مثال محل تولید برق یک فروشگاه بزرگ روی بام همان فروشگاه قرارگرفته است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که از توربین‌های اینولکس با مناسب‌ترین اندازه برای هرکاربردی در محل مورد نیاز استفاده شده و به جای بزرگ‌تر کردن حجم یک توربین از چندین توربین با چندین دهانه و ژنراتور استفاده شود(در مطالعات ذکر شده در این مقاله دیدیم که استفاده از چند دهانه برای یک توربین و چند پره ژنراتور در برخی موارد دارای مزیت‌های فراوانی است).

منابع

Allaei. 2015. INVELOX with multiple wind turbine generator systems. Energy.

Allaei D, S. L. 2013. INVELOX e making wind a reliable source of electrical energy for China.
China Wind Power, Beijing, China.

Allaei, A. a. 2013. a new concept in wind energy harvesting. ASME Fuel Cell Science, 1-4.

Andreopoulos, P. Y. 2012. ccny.cuny. Tratto da https://www.ccny.cuny.edu: https://www.ccny.cuny.edu/sites/default/files/mecheng/upload/Energy-_Activities_Andreopoulos.pdf

Daryoush Allaei, D. T. 2015. INVELOX with multiple wind turbine generator systems. Energy.

Daryoush Allaei, Y. A. 2013. INVELOX: A NEW CONCEPT IN WIND ENERGY HARVESTING, . ASME 2013 7th International Conference on Energy Sustainability & 11th ASME Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference ,July 14-19, 2013, Minneapo.

Dr.Daryoush Allaei, P. Y. (2014). INVELOX: Description of a new concept in wind power and its performance evaluation. Energy.

Grant A, K. N. 2003. THE DEVELOPMENT OF A DUCTED WIND TURBINE SIMULATION MODEL. Eighth International IBPSA Conference, 8: 1-8.

Hang, Z. L. 2013. Wind pressure on a single building immersed in a low-jet wind profile. International Conference of SuDBE2013,.

JN, S. 2011. Aerodynamic aspects of wind energy conversion. Annu Rev Fluid, 43:427e48.

Kamini N.Shelke, M. D. 2012. Magenn Air Rotor System (Mars). International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622.

M, D. a. 2010. Vertical axis wind turbines: history, technology. Master thesis in Energy Engineering, Hogskolan Halmstad.

P.Balaji. 2008. Invelox Wind Turbine Power Generation. IV-B.E-EEE, Department of EEE, IFET College of Engineering, Villupuram, 1-3.

RENEWABLES 2015 - GLOBAL STATUS REPORT. (2015). Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, .

Sukumar, P. 2015. PARAMETRIC STUDY ON DUCTED WIND TURBINE SYSTEM AND FLOW CHARACTERISTICS WHEN PLACED ON TOP OF A BUILDING. A Thesis, California State University, Sacramento, 12-30.