استفاده از توربین های بادی بدون پره ورتکس در نقاط کوهستانی شبکه آذربایجان غربی

مهدی زوار[۱]، پیام عالمی[۲]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد الکترونیک قدرت دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارومیه Mahdi_Zavvar@live.com
۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارومیه P.Alemi@iaurmia.ac.ir

چکیده -. در این مقاله به معرفی توربین بادی ورتکس پرداخته خواهد شد. ساختار توربین به طور کامل بررسی شده و مقایسه توربین بادی ورتکس با توربین های بادی موجود بیان می شود. پدیده تشدید در توربین فوق بیا ن شده و روابط حاکم به طور کامل مطالعه خواهد شد و بحث تبدیل حرکت خطی این توربین ها به حرکت چرخشی ژنراتور مورد استفاده با استفاده از اکتواتور بیان شده ونهایتا مقایسه توان تولیدی توربین ورتکس در سرعتهای بادی مختلف در مناطق مختلف استان آذربایجان غربی با استفاده از اطلاعات هواشناسی استان مورد بحث قرار می گیرد. به منظور بررسی عملکرد توربین، شبیه سازی در شرایط اتصال توربین به شبکه توسط مبدل *Back_To_Back* انجام شده است و نتایج شبیه سازی کنترل مناسب در شبکه را نشان می دهد.

کلید واژه- توربین بادی ورتکس، اکتواتور، نوسان، تشدید.

۱- مقدمه

بهره‌وری انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های اخیر به طور قابل‌توجهی رشد کرده است و انرژی باد یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در این زمینه می باشد. انرژی بادی مزایایی فراوانی دارد و به‌همین دلیل یکی از سریع‌ترین رشدها را نیز در بین منابع انرژی‌های تجدید پذیر جهان دارد[2]-[1]. انرژی باد تقریبا در همه‌جای زمین در دسترس است؛ اما پیرامون میزان سازگاری و نیروی باد، تفاوت‌هایی وجود دارد. یک برآورد نشان می‌دهد که ۱ میلیون گیگاوات انرژی بادی در کل زمین وجود دارد و اگر فقط ۱ درصد از این زمین‌ها از نیروی باد بهره‌برداری کنند، می‌توان تمامی تقاضای جهانی برق را تامین کرد. همچنین افزایش ظرفیت انرژی تولیدی توربین‌های بادی، انرژی باد را به یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تبدیل کرده است. علاوه بر این، استفاده ترکیبی از منابع انرژی تجدید پذیر مختلف به دلیل جبران دو جانبه در دوره‌های عدم وجود باد ، نور خورشید و غیره پیشنهاد شده است. پره توربین‌های بادی می‌تواند به دور محور افقی و یا عمودی دوران کند. توربین بادی با محور افقی، پیشینه بیشتری داشته و امروزه هم بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مقابل، مزیت توربین بادی با محور عمودی، عدم حساسیت نسبت به جهت وزش باد و عدم نیاز به یک پایه مرتفع است. مهم‌ترین مزیت، توربین‌های بادی، کاهش تاثیرات مخرب زیست‌محیطی است. توربین‌های بادی مستقیما، هیچ‌گونه آلودگی آب‌وهوایی یا زیست‌محیطی ندارند [3].

شکل ۱. توربین بدون پره ورتکس

کسانی که در محل‌های نزدیک به توربین‌های بادی سکونت دارند، همیشه از صدای مخصوص چرخش پره‌ها و صدای آزار دهنده چرخ دنده توربین‌ها و ژنراتورها، که آرامش آن‌ها را برهم می‌زند، گلایه می‌کنند. توربین‌های بادی در سال‌های اخیر بسیار کم سر و صداتر از نمونه‌های قدیمی‌تر هستند. اکنون صدای پره توربین‌های بادی از فاصله بیش از ۲۰۰ متری قابل شنیدن نیست. مهندسین بر این باورند که توربین‌های بادی مدرن امروزی دیگر پر سر و صدا و آزار دهنده نیستند. به همین ترتیب، تجهیزات و ماشین‌آلات توربین‌های بادی هیچ یک از گازهای گلخانه‌ای مضر را که به تغییرات اقلیمی کمک می‌کند، منتشر نمی‌کنند. یکی از مشکلات رو به رو ، شرایط

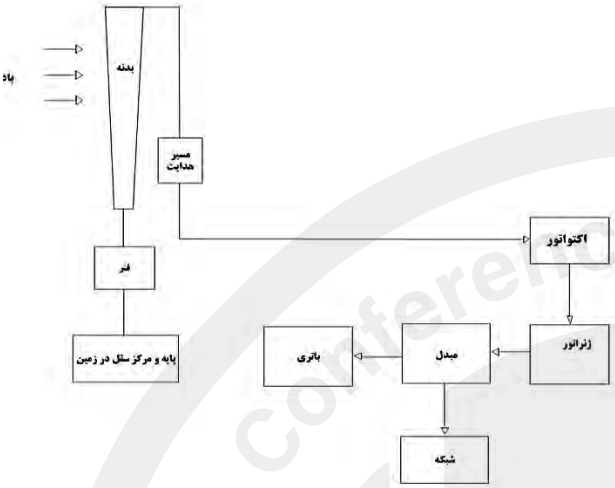
بد آب و هوایی علل الخصوص شرایط هوایی در محیط‌های دریایی، همچنین خوردگی قطعات مکانیکی دستگاه‌های مکانیکی می‌باشد که عدم وجود دنده‌ها ، یاتاقان و غیره در دستگاهی که توانایی جمع‌آوری انرژی باد را دارد می‌تواند یک مزیت مهم نیز باشد. همچنین تاثیر روی حیات وحش (عمدتا پرنده) ، تاثیر بصری ، پدیده EMI با آنتن‌ها یا رادارها ، هزینه‌ها، و بسیاری از عوامل دیگر نیز باید در هنگام توسعه یک دستگاه تولید انرژی بادی جدید در نظر گرفته شود.

بدین منظور توربین بدون پره ورتکس (Vortex Bladeless) پیشنهاد می شود (شکل ۱). این توربین می‌تواند مسیر استفاده از انرژی باد برای دریافت انرژی را تغییر دهد. در طراحی توربین جدید لرزش نقش اساسی را دارد. توربین ورتکس بدون پره شامل ستونی است که در اثر وزش باد می‌لرزد و از این طریق انرژی الکتریکی تولید می‌شود[5]-[4] .

در این مقاله ابتدا ساختار توربین بادی ورتکس تشریح می شود، پدیده رزونانس و سیستم میراسازی نوسانات و معرفی آکتواتور به طور کامل توضیح داده می شود و در قسمت بعدی مزایا و معایب استفاده از توربین های ورتکس و همچنین کاربردهای استفاده از این نوع توربین بیان می شود. شبیه سازی توربین بادی ورتکس در حالت اتصال به شبکه بیان شده و نهایتا نتیجه گیری آورده خواهد شد.

۲- توربین ورتکس

این توربین می‌تواند مسیر استفاده از انرژی باد برای دریافت انرژی را تغییر دهد. شکل ۲ نمایانگر نمودار بلوکی طرح تولید برق بدون پره است. در طراحی توربین جدید لرزش نقش اساسی را دارد. توربین بدون پره ورتکس شامل ستونی است که در اثر وزش باد می‌لرزد و از این طریق انرژی الکتریکی تولید می‌شود. بسیاری از مهندسان ساختمان و معماران، ساختمان‌ها را به گونه‌ای طراحی می‌کنند تا اثر باد و گردباد در آن‌ها کمتر شود، به نظر این توربین به گونه‌ای طراحی شده تا این اثر به بیشینه‌ترین حالت ممکن در آن توربین را به لرزش دربیاورد. به طور کلی ، جهت باد متغیر است. سطح مقطع دستگاه بدون شفت های مکانیکی و همیشه مدور است. از طرف دیگر ، معمولاً هرچه از زمین بالاتر باشید ، شیب سرعت باد افزایش می یابد. قانون نمایی هلمن [6] تقریب خوبی برای مطالعه این واقعیت است. با توجه به دلایل ذکر شده ، به نظر می رسد یک ساختار مقطع عمودی ، باریک و دایره ای برای جمع آوری انرژی باد بدون نیاز به شفت های مکانیکی کافی است[7]. براساس اطلاعات منتشر شده توسط ورتکس، استفاده از این روش هزینه‌ی ساخت توربین‌های بادی را کاهش می‌دهد. دلیل کاهش هزینه کاملا مشخص است، در صورتی که گردش و عضوهای مکانیکی از ساختار توربین حذف شوند، در این صورت استهلاک و خرابی نیز از میان



شکل ۲. بلوک دیاگرام تولید برق بدون پره

برداشته می‌شود. همچنین باید به حذف پره‌های عظیم نیز اشاره کرد که تقریبا نیمی از هزینه‌ی ساخت یک توربین را به خود اختصاص می‌دهند. البته در نظر داشته باشید که بهره‌وری توربین‌های جدید در مقایسه با نمونه‌های معمول از نظر تولید انرژی ۳۰ درصد کمتر است. توربین‌های بدون پره، ۲,۳ برابر کارآمدتر از توربین‌های رایج عمل می‌کنند. علاوه بر این، هزینه‌ی این توربین‌ها ۴۵ درصد کمتر از یک توربین معمولی است که علت این امر، عدم وجود پره‌ها و عدم وجود هاب و جعبه دنده‌های مرتبط می‌باشد. پس می‌توان گفت این توربین‌ها تحولی نسبتاً بزرگ در تکنولوژی توربین‌های بادی محسوب می‌شوند.

۲-۱ تشدید در توربین ورتکس

پدیده های رزونانس اغلب با حالت عادی نوسان همراه است. با توجه به این ، دکل بخش سخت و محکم سازه است که به طور مستقیم با باد در تعامل است، می توانیم با تغییر قطر با توجه به ارتفاع، به یک گرداب هماهنگ شده در طول دکل برسیم (شکل۲).

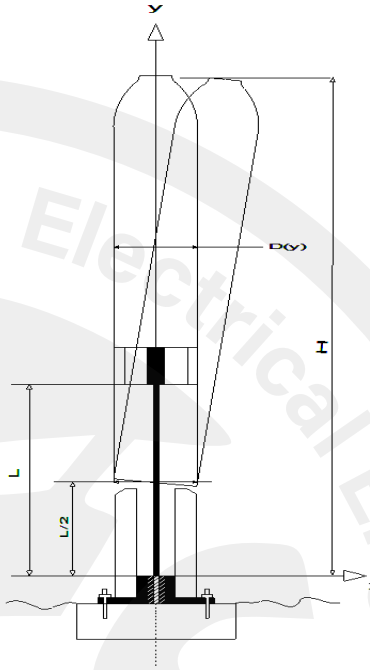
به این ترتیب ، نیروهای عمود بر جهت گردش باد همه در یک مرحله کار می کنند و عملکرد بالاتری نسبت به آنها ندارند. باید به این نکته توجه کرد که برای ساختارهای استاتیک طول مشخصه سازه های استوانه ای مقدار را از قطر ساختار می گیرد، ولی در ساختارهایی که نوسان آنها قابل اغماض نیست ، می توان ثابت کرد که:

$$\Phi = D + a \cdot X \qquad (1)$$

Φ : طول مشخصه،

D :قطر دکل،

X : دامنه نوسان



شکل ۳. رابطه قطر دکل با توجه به ارتفاع

a : عامل تنظیم

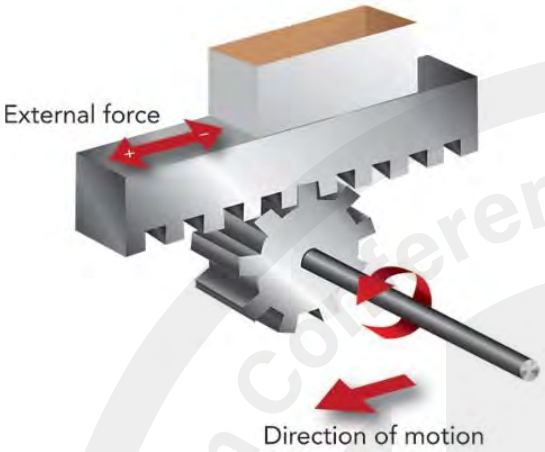
فرض کنید یک میله L با طول انعطاف پذیر و آزاد (شکل ۳) در دکل (قسمت بالایی) و در زمین (قسمت پایین) تعبیه شده است. با توجه به اینکه دکل به عنوان یک جامد سفت و سخت قادر به نوسان زاویه های کوچک است ، می توان فرض کرد که دامنه نوسان x در ارتفاع $y = L/2$ صفر است [8] .

۲-۲. اکتواتور

یکی از ساده ترین سیستم های اکتواتور مورد استفاده سیستم rack and pinion می باشد که نوعی از سیستم محرک خطی است. این سیستم به منظور تبدیل حرکت خطی به دورانی مورد استفاده قرار می گیرد و شامل قسمت (pinion) که به صورت چرخدنده و دنده حظی (rack) می باشد. با حرکت دنده یه صورت خطی حرکت دورانی چرخ دنده نتیجه می شود که می تواند به صورت بالعکس نیز انجام شود. بحث اصلی در این قسمت تبدیل حرکت خطی به حرکت دورانی چرخدنده می باشد. نیروی گردبادی دور بدنه توربین می تواند به حرکت دورانی برای چرخش ژنراتور به منظور تولید انرژی اکتریکی مورد استفاده قرار گیرد[7]-[5] .

۲-۳. مزایا و معایب توربین ورتکس

طرح توربین ورتکس به طور کامل عناصر مکانیکی که می تواند از سایبدگی و پارگی رنج ببرد را از بین می برد و منجر به کاهش۵۳ درصدی هزینه های تعمیر و نگهداری در مقایسه با توربین باد قبلی می شود.



شکل ۴. اکتواتور

همچنین جلوگیری از تغییر روغن یا تغییر بیشتر قطعات مکانیکی در طول ۲۰ سال عمر توربین های مورد استفاده از دیگر مزایای این توربین است. در مقابل این سیستم مقداری از تبدیل الکتریکی را از دست می دهد و توربین ورتکس یکی از خانواده هایی است که هیچ حرکت چرخشی و شافتی در سازه آن وجود ندارد.

اساس این فناوری پدیده ای به نام گرداب است. توربین بدون پره قصد دارد جایگزین باد "سبزتر" شود. به نظر می رسد بزرگترین نقطه ضعف در تولید نیروی بادی بدون پره این است که این فناوری در مرحله توسعه است و باید به ریسک پذیری سرمایه گذاران اعتماد کرد. البته همه فناوری های جدید باید این مرحله را پشت سر بگذارند. راندمان انرژی جذب شده از باد نسبتاً کمتر از توربین بادی معمولی است. نیاز به سیستم های کنترل برای کنترل نوسانات برای برآورد فرکانس طبیعی دکل و کنترل فرکانس در وزش باد سرعت بالاتردارد.

۲-۴. مقایسه توربین بادی ورتکس با انواع توربین های بادی

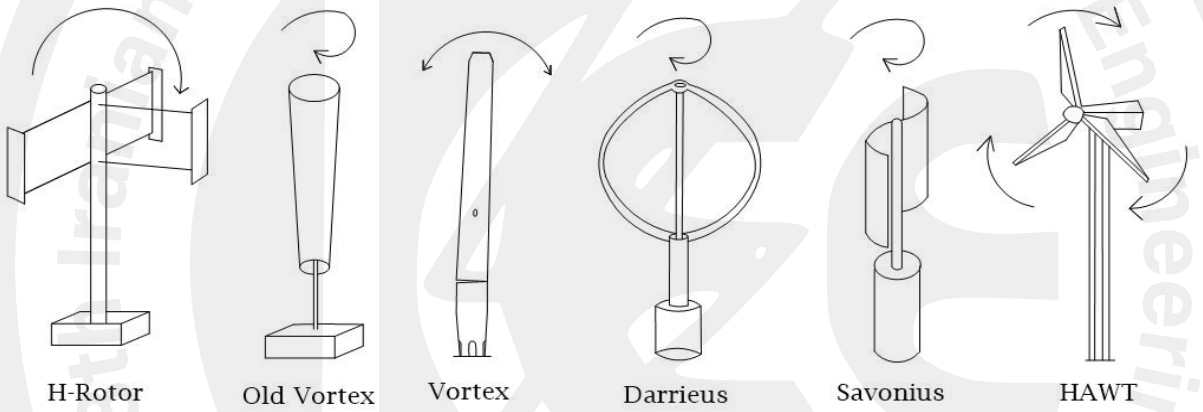
یکی از مهمترین چالش ها در تامین انرژی الکتریکی در نواحی دورافتاده و مرزی و کوهستانی، عدم دسترسی به شبکه توزیع برق می باشد .از طرف دیگر نوع و جهت وزش باد در این مناطق به گونه ای است که توربین های بادی معمولی در برابر این نوع از جریانات گردبادی دارای بازدهی کافی نمی باشند و حتی در شدت های بالاتر منجر به شکستن پره توربین ها می شود که این مشکل می تواند با استفاده از توربین های ورتکس حل شود. توربین های بادی کم مصرف روشی عالی برای تأمین انرژی تجدیدپذیر برای مصارف

خانگی ، شبکه های شهری و زیرساخت ها یا سیستم های خارج از شبکه در هنگام نیاز است.

جدول ۱. انواع توربین های بادی در سرعت های بادی مختلف با استفاده از اطلاعات میانگین سالانه ایستگاه هواشناسی آذربایجان غربی [9]

نام مکان مورد مطالعه- استان آذربایجان غربی	ماکزیمم سرعت بادm/s	جهت ماکزیمم سرعت باد	باد گاستی		توان ورتکس [W]	توان HAWT [W]	توان VAWT [W]
			سرعت	جهت			
سلماس	۳,۱۴	۲۲۵	۱۲	۱۸	۳	۰	۰
قره ضیاءالدین	۶	۳۰۰	-	-	۳۵	۶۰	۴۴
ارومیه	۷	۲۱۰	۱۴	۳۱۰	۶۰	۹۰	۶۶
سردشت	۸	۲۰۰	۱۲	۲۷	۸۵	۱۱۵	۸۶
ارومیه	۹	۳۱۰	۱۵	۴	۹۳	۱۳۰	۱۰۵

باد گاستی: اگر سمت و سرعت *باد* در فاصله زمانی کوتاه به طور قابل ملاحظه ای تغییر کند این نوع تغییرات قابل مقایسه را تند باد لحظه ای یا باد گاستی (GUSTY *WIND*) می گویند.



شکل۴. انواع توربین های بادی[7]

با تجزیه و تحلیل دو خانواده اصلی موجود در فن آوری باد به نام های زیر: Horizontal axis turbines (HAWT) و Vertical axis turbines (VAWT). یک خانواده سوم تازه متولد شده برای توربین های ورتکس را اضافه می کنیم. در توربین های بادی محور افقی(HAWT). تمام اجزاء (پره ها ، شافت و ژنراتور) در بالای یک برج قرار دارند و شافت از زمین افقی است و تیغه ها بر روی محور افقی توربین نصب می شوند. در توربین های بزرگ برای کند کردن در صورت باد بیش از حد از سیستم ترمز استفاده می شود.

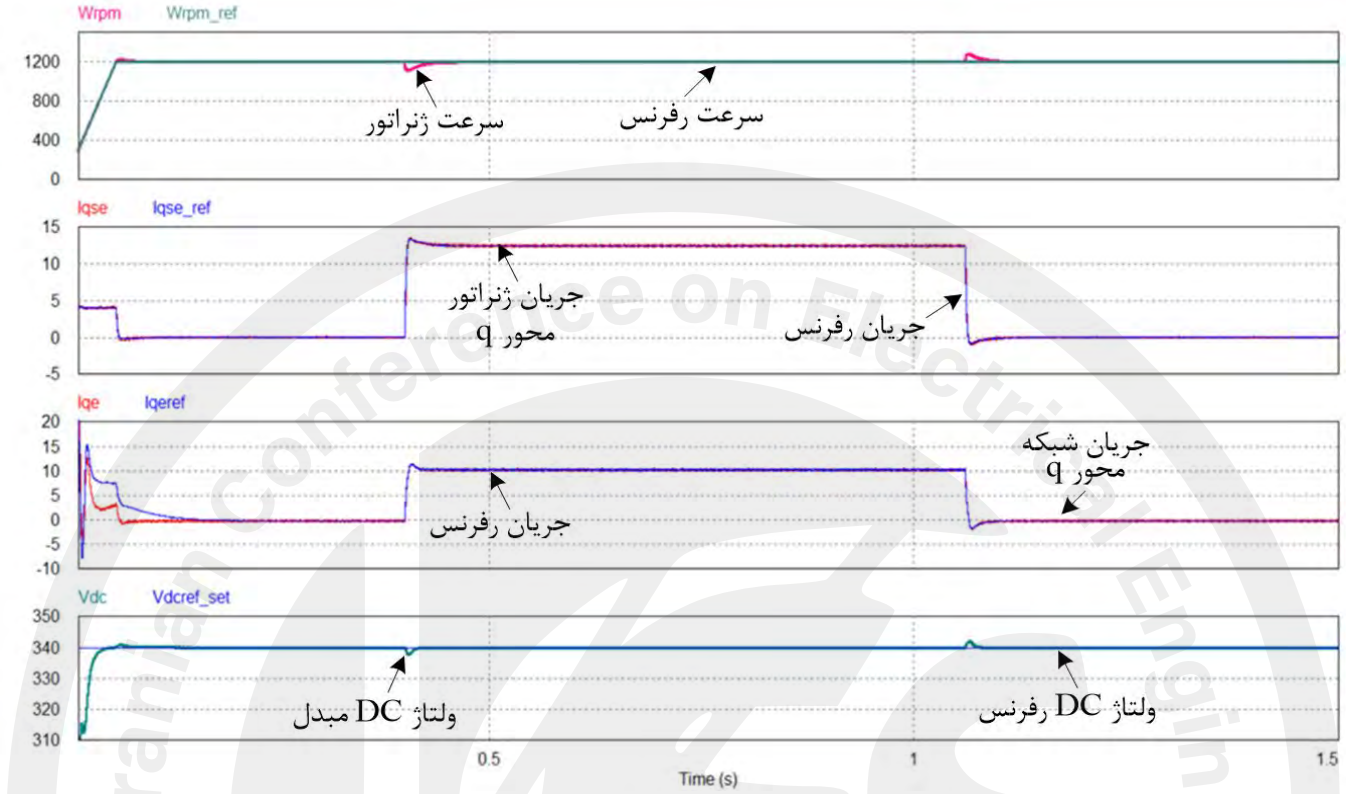
در توربین های محور عمودی (VAWT) شافت و تیغه ها به صورت عمودی به سازه متصل می شوند. اجزای اصلی به زمین نزدیک می شوند و مرکز ثقل پایدارتری را ایجاد می کنند. این نوع توربین ها جدیدتر از محورهای افقی مستقر هستند و امروزه طرح ها و مدل های مختلف زیادی با کارایی و رفتار متفاوت وجود دارد.

جدول ۱ مقایسه توربین های بادی در سرعت های بادی مختلف آورده شده که توان تولید شده توسط سه توربین بادی افقی، عمودی و ورتکس را در سرعت های بادی مختلف نشان می دهد [3]. اطلاعات جدول فوق برای ماکزیمم سرعت و همچنین جهت ماکزیمم سرعت باد در نقاط و شهرهای مختلف استان آذربایجان غربی با استفاده از داده های سازمان هواشناسی استان می باشد. همچنین جهت و سرعت باد گاستی تیز مشخص ات که هدف از جدول فوق ، معرفی تولید توان واقعی و بهره وری از فن آوری های مختلف توربین است. عامل مهمی که باید درتحلیل فن آوری های بادی به خاطر داشته باشید ، قدرت خروجی است که یک توربین در شرایط واقعی قادر به دستیابی به آن است. تولید کنندگان معمولاً در فهرست های خود قدرت اسمی ژنراتور یعنی قدرت مورد نیاز ماشین بادی را نشان می دهند.

۳- شبیه سازی

عملکرد توربین بادی بدون پره ورتکس با استفاده از تبدیل ویبراسیون میله فلزی داخل بدنه به نیروی گردشی توسط آکواتور انجام می شود. عملکرد آکواتور که پیشتر توضیح داده شد بر مبنای

استفاده از دو سیستم چرخ دنده به صورت خطی و دایره ای شکل است که به این ترتیب حرکت خطی حاصل از توربین ورتکس



شکل۷. نتایج شبیه سازی (۱).

تبدیل به حرکت چرخشی به منظور تولید جریان الکتریکی توسط ژنراتور می گردد. در این قسمت نتایج شبیه سازی برای توربین ورتکس متصل به شبکه با استفاده از مبدل Back-To-Back آورده شده است. اطلاعات توربین مورد مطالعه و شرایط کارکرد مبدل در جدول ۲ آورده شده است. شبیه سازی با استفاده از نرم افزار PSIM انجام شده است و نتایج شبیه سازی در شکل های ۷ و ۸ نشان داده شده است. با توجه به نتایج شبیه سازی در شکل ۷ برای عملکرد کنترلها در مبدل مورد استفاده آورده شده است مشخص است که با افزایش مقدار رفرنس سرعت ماشین تا ۱۲۰۰ rpm سرعت ماشین نیز رفرنس را به طرز مورد قبولی دنبال می کند و سپس با اعمال بار در زمان ۰,۴ ثانیه و همچنین قطع بار در ۱,۱ ثانیه، عملکرد کنترلر مورد تایید بوده و سرعت ماشین رفرنس را دنبال می کند. در قسمتهای بعدی جریان ماشین در محور q و همچنین جزیان شبکه در محور q رسم شده است، کاملا مشخص است با افزایش سرعت ماشین، جریانهای ماشین و شبکه در محور q افزایش چندانی ندارند ولی با اعمال بار در ۰,۴ ثانیه، جریان محور q تا ۱۲,۵ آمپر بالا می رود که به علت اعمال بار در آن زمان می باشد و با خارج کردن بار در ۱,۱ ثانیه، جریان دوباره تا حدود صفر کاهش پیدا می کند. در قسمت بعدی جریان شبکه در محور q رسم شده است که با افزایش به ۱۰ آمپر در حضور بار و در لحظات دیگر در حدود صفر نشان

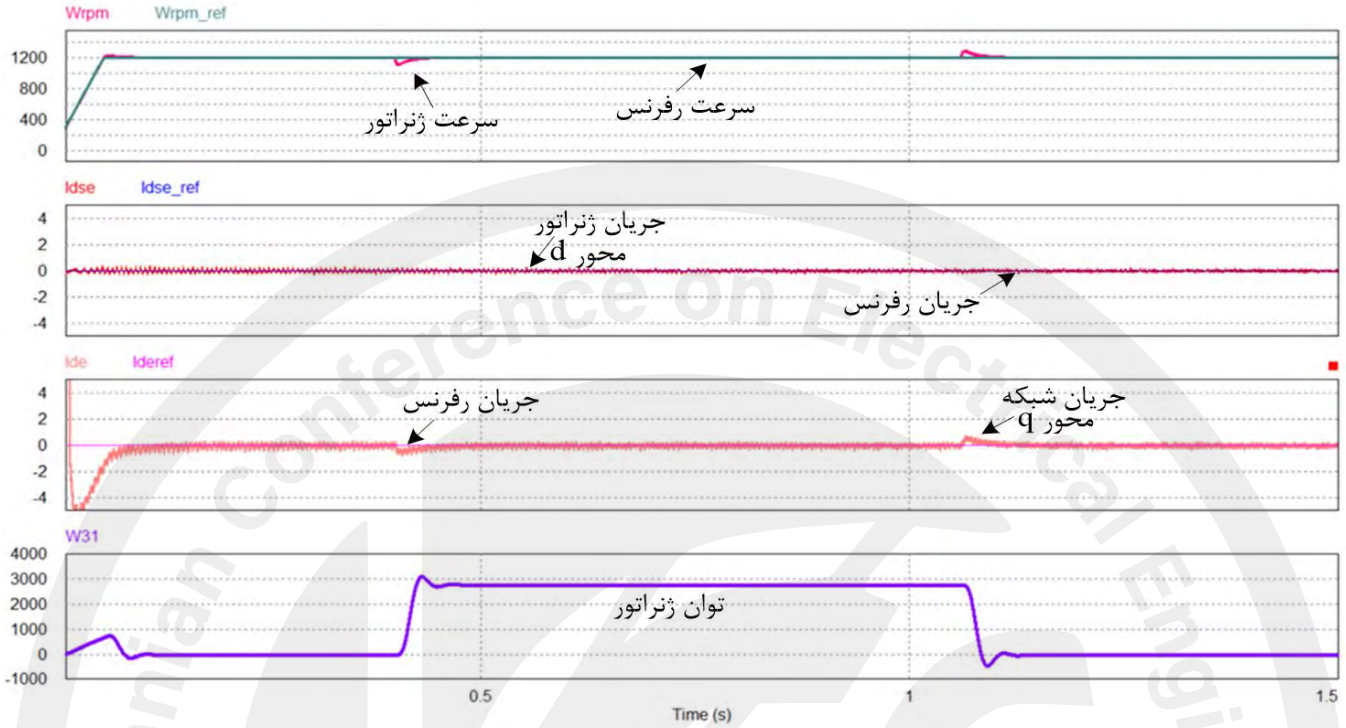
جدول ۲. پارامتر های شبیه سازی

ژنراتور PMSG مورد استفاده		۳ کیلووات	ظرفیت توربین
۰,۴۹ اهم	مقاومت استاتور	۵ کیلو هرتز	فرکانس سوئیچینگ
۰,۰۰۵۳۵ هانری	اندوکتانس محور d	۳۴۰ ولت	ولتاژ DC
		۲۲۰ ولت	ولتاژ AC شبکه
۰,۰۰۵۳۵ هانری	اندوکتانس محور q	۵۰ هرتز	فرکانس شبکه
		۲۵۰۰ میکرو فاراد	خازن DC
۰,۰۰۳۳۱	ممان اینرسی	۰,۰۰۳۳ هانری	فیلتر AC

داده شده است. در نهایت ولتاژ DC مبدل در ۳۴۰ ولت کنترل شده است و درزمانهای مربوط به اتصال و قطع بار، مقدار تغییرات از ۱۰٪ مقدار ثابت ۳۴۰ ولت تجاوز نمی کند که دلیل کنترل مناسب ولتاژ DC مبدل می باشد. در شکل ۸، منحنی های مربوط به جریان ماشین و شبکه در محور d آورده شده که به منظور دستیابی به ضریب قدرت واحد مقدار رفرنس برای محور d برابر صفر در نظر گرفته شده است.

منحنی اول برای جریان ماشین در محور d عملکرد کنترلر در محور d را نشان می دهد و در قسمت بعدی عملکرد کنترلر در محور d شبکه آورده شده است. در قسمت آخر از شکل ۸ منحنی توان

ماشین آورده شده است که در لحظه اعمال بار تا حدود ۲,۸ کیلووات افزایش پیدا می کند.



شکل۸. نتایج شبیه سازی (۲).

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله به معرفی و بررسی توربین ورتکس پرداخته شد. ساختمان و قسمت های مختلف توربین و شرایط کارکرد آن به طور کامل توضیح داده شد. مقایسه مناسب توربین ورتکس با توربین های بادی مرسوم در شرایط و ویژگیهای تولید برق مشابه انجام شد. با توجه به اینکه توربین ورتکس یک فناوری کاملاً توسعه یافته نیست و تمام داده های ارائه شده در مورد توربین های ورتکس با نمونه های اولیه تخمین زده می شود به این منظور بحث مقایسه نمی تواند به صورت کامل انجام شود ولی با این حال می توانیم نتیجه بگیریم که توربین ورتکس در سرعت های بادی کم تا ۸ متر بر ثانیه دارای بازده بیشتری در مقایسه با هزینه می باشد. همچنین توربین های محور افقی و عمودی معمولاً برای رسیدن به توان اسمی خود به سرعت باد بالاتری احتیاج دارند در حالی که گرداب می تواند برای محدوده سرعت باد معمولی پاسخ دهد. نتایج شبیه سازی با استفاده از ژنراتور پیشنهادی در حالت وصل به شبکه آورده شده که کنترل بسیار مناسب را در اتصال به شبکه نشان می دهد.

سپاسگزاری

از سازمان هواشناسی استان آذربایجان غربی جهت ارائه اطلاعات هواشناسی در مناطق مختلف استان کمال تشکر را داریم.

مراجع

1. http://www.satba.gov.ir/
2. Numerical Simulation of Flow around vertical Cylinders. University of Western Australia, 2007.
3. J. Jeong and F. Hussain, “On the Identification of a Vortex,” J. Fluid Mechanics, vol. 285, pp. 69-94, 1995.
4. F. Pimont, J. Dupuy, R. Linn, and S. Dupont, “Validation of Firetec Wind-Flows over a Canopy and a Fuel-Break,” Int’l J. Wildland Fire, vol. 18, no. 7, pp. 775-790, 2009.
5. J. Sahner, T. Weinkauf, N. Teuber, and H.-C. Hege, “Vortex and Strain Skeletons in Eulerian and Lagrangian Frames,” IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, vol. 13, no. 5, pp. 980 -990, Sept./Oct. 2007.
6. D. Sujudi and R. Haimes, “Identification of Swirling Flow in 3D Vector Fields,” Proc. AIAA 12th Computational Fluid Dynamics Conf., 1995.
7. D. Kenwright and R. Haimes, “Automatic Vortex Core Detection,” IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 18, no. 4, pp. 70-74, July/Aug. 1998.
8. J. Wu, Hui-Yang, M., Ming-De Z., ‘Vorticity and vortex dynamics’, Springer Science & Business Media, 2007.
9. http://www.irimo.ir/