فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۰-۵۴
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

عنوان مقاله: تحلیل روش محاسبه جریان مدار کوتاه در طراحی نیروگاه بادی
دوره ۵ / شماره ۴ / زمستان ۱۴۰۰/ ص ۶۰-۵۴

تحلیل روش محاسبه جریان مدار کوتاه در طراحی نیروگاه بادی

اصغر قادری۱، عزیز الرحمن بیجارزهی۲، احمد یزدانی۲
۱ استادیار گروه برق دانشگاه آزاد واحد ایرانشهر
۲ دانشجوی کارشناسی مهندسی برق، دانشگاه آزاد واحد ایرانشهر

چکیده

یکی از عوامل مهم و موثر در توسعه و پیشرفت کشورها تامین منابع انرژی مورد نیاز برای رشد کشور می‌باشد. انرژی باد از جمله انرژی‌های تجدید پذیر است که به علت گستردگی، قدرت بازدهی بالا، اقتصادی بودن و اینکه در مقایسه با دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر در ابعاد وسیع‌تری مورد بهره-برداری قرار می‌گیرد، عملاً از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. کشور ایران از جمله کشورهایی می-باشد که پتانسیل قابل توجهی برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر مانند نیروگاه بادی دارد. به خاطر تفاوت‌های موجود بین نیروگاه بادی و نیروگاه معمولی در مدل ریاضی و ساختار شبکه، این منجر به اختلاف زیادی بین نتایج کارکردی به ازای روش عملی محاسبه مدار کوتاه نرمال مطرح می‌گردد.

واژگان کلیدی: تأمین انرژی پاک، نیروگاه بادی، محاسبه مدار کوتاه، روش محاسبه عملی

مقدمه

یکی از عوامل مهم و موثر در توسعه و پیشرفت کشورها تامین منابع انرژی مورد نیاز برای رشد کشور می‌باشد. از طرف دیگر، منابع سوخت‌های فسیلی موجود در جهان به سرعت در حال اتمام می‌باشد. یکی دیگر از معایب تامین انرژی مورد نیاز صنعت از طریق سوخت‌های فسیلی تولید آلودگی زیست محیطی فراوان می‌باشد. امروزه انرژی‌های نو به رغم ناشناخته ماندن، به سرعت در حال گسترش و نفوذ است و غفلت از آن، غیرقابل جبران خواهد بود. انرژی خورشیدی، بادی، آبی، زیست توده، زیست گاز و انرژی‌های زمین گرمایی از عمده‌ترین منابع انرژی‌های پاک به شمار می‌آید. انرژی باد از جمله انرژی‌های تجدید پذیر است که به علت گستردگی، قدرت بازدهی بالا، اقتصادی بودن و اینکه در مقایسه با دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر در ابعاد وسیع‌تری مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، عملاً از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. کشور ایران از جمله کشورهایی می‌باشد که پتانسیل قابل توجهی برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر مانند نیروگاه بادی دارد. بنابراین با حرکت به سمت استفاده از نیروی باد می‌توان هم از منابع پایدار انرژی برای توسعه صنعتی اطمینان حاصل کرد و همچنین از آلودگی بیشتر محیط زیست جلوگیری کرد.

بر اساس اهداف بلندمدت تعیین شده در سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعه صنعت باد ایران، لازم است سهم نیروگاه‌های بادی حداقل به ۲۴/۵ گیگاوات تا سال ۱۴۰۴ افزایش یابد. همچنین، بر اساس اهداف کوتاه مدت همین سند باید حداقل ۲۰۰۰ مگاوات توربین باد تولید، بومی شده و نصب گردد. گام اول و اساسی در توسعه‌ی انرژی‌های نوین، مطالعه‌ی دقیق پتانسیل‌های مربوطه است. در مرحله دوم یافتن مکان بهینه برای استقرار تجهیزات و تأسیسات بهره‌برداری از پتانسیل‌های موجود و بالقوه ضرورتی اجتناب ناپذیر است.

یکی از مهمترین مسایل در زمینه‌ی تاسیس نیروگاه بادی انتخاب محل مناسب می‌باشد. محلی که هم دارای پتانسیل بادی قابل توجهی باشد، هم کمترین آلودگی را برای محیط زیست به همراه داشته باشد و هم برای سکونتگاه‌های انسانی کمترین مشکلات را در پی داشته باشد. به عبارت دیگر، برای توسعه‌ی پایدار در بخش انرژی به ویژه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌بایست دقت لازم در تعیین محل مناسب برای احداث این نیروگاه‌ها به عمل آید. وجود عامل‌های متعدد در مکانیابی نیروگاه‌های بادی، لزوم به‌کارگیری سیستمی که علاوه بر دقت بالا از نظر سرعت عمل و سهولت انجام عملیات در حد بالایی قرار داشته باشد را ضروری میسازد. امروزه سیستم‌های اطلاعات و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (GIS) جغرافیایی به طور گسترده قابلیت به کارگیری در (MCDA) برنامه‌ریزی‌های مکانی و مباحث مربوط به مکانیابی را دارا در تصمیم گیری GIS می‌باشند.

نیروگاه بادی

یک نیروگاه بادی یا مزرعه بادی، مجموعه‌ای از چندین توربین بادی است که در یک مکان قرار گرفته‌اند. یک نیروگاه بادی بزرگ می‌تواند شامل چندصد توربین بادی باشد. چنین مجموعه‌ای می‌تواند بر روی دریا قرار گرفته باشد. توربین‌های بادی به‌طور کلی انرژی باد را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند.

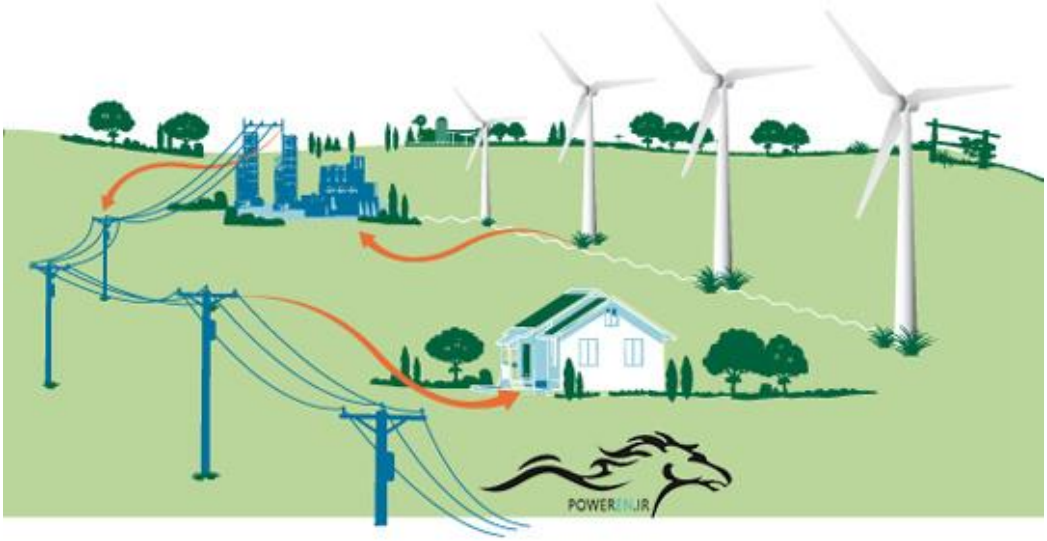
بزرگ‌ترین نیروگاه بادی دنیا، نیروگاه بادی روسکو در تکزاس آمریکا است که توان نامی ۷۸۱/۵ مگاوات دارد].۲[

در سال ۲۰۰۶ برای اولین بار در اتحادیه اروپا رشد تولید برق از انرژی‌های نو بیش از رشد تولید برق از منابع فسیلی بود. از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۶ شمسی، ظرفیت تولید برق بادی جهان از ۱۸۰۰۰ مگاوات به ۹۲۰۰۰ مگاوات افزایش یافته‌است. از سال ۲۰۰۰ تاکنون این صنعت سالانه ۲۵٪ رشد کرده و هر سه سال دو برابر شده‌است و این در شرایطی است که رشد اقتصاد جهانی از یک تا دو درصد در سال بیشتر نیست.

نحوه عملکرد توربین بادی

توربین‌های بادی بر اساس یک اصل ساده کار می‌کنند. انرژی باد دو یا سه پره‌ای را که به دور روتور توربین بادی قرار گرفته‌اند را می‌چرخاند. روتور به یک شفت مرکزی متصل می‌باشد که با چرخش آن، ژنراتور نیز به چرخش درآمده و الکتریسیته تولید می‌کند. تمام این فرآیند یعنی تبدیل انرژی جنبشی به الکتریکی.

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۰-۵۴
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com



شکل ۱- نحوه عملکرد نیروگاه بادی

مزایای استفاده از انرژی بادی

انرژی بادی نسبت به سوخت‌های فسیلی دارای مزایای زیر است

- آلودگی ایجاد نمی‌کند
- تجدیدپذیر است
- تقریباً ۲۴ ساعت در دسترس است
- نگه‌داری ساده‌تری دارند
- ارزان‌تر بودن نسبت به نیروگاه‌های فسیلی
- عدم نیاز به آب
- هزینه راه‌اندازی پایین

معایب استفاده از انرژی باد

به دلیل متفاوت بودن سرعت باد در فصول مختلف حتی در ساعات شبانه‌روز، از باد به‌عنوان یک منبع متناوب و نه مستمر یاد می‌شود به همین دلیل بعضی از بادها توانایی تولید برق را ندارند و تنها باعث چرخش رتور می‌شوند به همین دلیل توربین‌ها به طور متوسط با ٪۲۵ تا ٪۳۵ ظرفیت خود کار می‌کنند

آسیب‌های توربین بادی

آسیب‌های وارده به توربین‌های بادی ناشی از دو دلیل عمده است:

۱ .کارکرد زیاد به‌طوری‌که ٪۳ از زمان کارکرد توربین‌های بادی تجاری صرف تعمیرات آنها می‌شود.

۲ ..٪۸۰ صدمات وارده به توربین‌های بادی به‌ویژه در کشورهای اروپایی و آمریکایی در اثر برخورد صاعقه به پره‌های توربین است البته این موضوع در کشور ما کمتر اتفاق می‌افتد.

باتوجه‌به تغییر سرعت باد نمی‌توان با استفاده از سرعت متوسط برای یک منطقه میزان تولید توربین بادی نصب شده در آن منطقه را مشخص کرد برای نصب توربین‌های بادی در یک منطقه باید فراوانی سرعت در آن منطقه رو مشخص کرد که معمولاً از یک ضریب توزیع در اطلاعات جمع‌آوری‌شده مربوط به منطقه استفاده می‌کنند تا سرعت توزیع باد در آن منطقه مشخص شود.

انواع توربین‌ها

توربین‌های بادی محور افقی (HAWT): توربین های بادی با محور افقی که به اختصار HAWT یا (Horizontal Axis Wind Turbines)نیز نامیده می‌شوند، رایج ترین نوع توربین‌های بادی مورد استفاده هستند. همه اجزا توربین (پره‌ها، جعبه دنده، ژنراتور و ...) بالای برجی بلند و در راستای باد قرار می‌گیرند. این توربین‌ها برای رسیدن به بیشترین بازدهی باید دقیقاً در جهت وزش باد قرار گیرند، لذا توربین‌های محور افقی باید سیستمی برای تنظیم در مقابل باد قرار گرفتن داشته باشند که به آن مکانیزم یاو (Yawing) می گویند. مزایای توربین افقی بلندی برج امکان دسترسی به بادهای پرتوان را فراهم می‌کند. در برخی مکان‌ها به ازای هر ۱۰ متر افزایش ارتفاع سرعت باد ۲۰ درصد و بازدهی ۳۴ درصد افزایش می‌یابد. به دلیل پایه‌های بلند و مکانیزم پیشرفته، امکان استفاده از این توربین‌ها در دریاها نیز وجود دارد. به دلیل قرار گرفتن مستقیم در مقابل وزش باد، بازدهی بالایی دارند. معایب توربین افقی در ارتفاع کم کار نمی‌کنند. حمل و نقل و نصب و راه اندازی آن‌ها مشکل است. تعمیر و نگه داری آن‌ها سخت و پرهزینه است. در مجاورت رادار تحت تأثیر قرار می‌گیرند. ارتفاع زیاد و بزرگی آن‌ها ظاهر زیبایی ندارد و آلودگی صوتی ایجاد می‌کند.

شکل ۲- توربین بادی افقی

توربین‌های بادی محور عمودی(VAWT) : در توربین‌های بادی با محور عمودی که به اختصار VAWT یا (Vertical Axis Wind Turbines)نامیده میشوند، روتور اصلی به صورت عمودی قرار میگیرد. مهمترین مزیت توربین بادی عمودی این است که نیازی به تنظیم جهت قرارگیری نسبت به جهت باد ندارند و همچنین در ارتفاع کم نیز می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. در توربین‌ها یا روتورهای محور عمودی، محور دوران عمود بر سطح زمین و چرخش تیغه ها به موازات زمین است. و به همین دلیل سطحی که توسط باد به حرکت در می‌آید پس از نیم دور چرخش مجبور است در جهت عکس جریان باد به حرکت خود ادامه دهد و این مشکل سبب پایین آمدن ضریب توان آنها می شود. به همین دلیل در این روتورها منحنی پره از اهمیت خاصی برخوردار است. در توربین‌های بادی محور عمودی، اجزا مانند ژنراتور می‌توانند در نزدیکی زمین قرار گیرند، بنابراین برج نیاز به مراقبت از آن ندارد و تعمیرات و نگهداری آسان‌تر است. چون این توربین‌های بادی می‌بایست نزدیک‌تر به سطح زمین نصب شوند و در ارتفاع کم، سرعت باد کمتر است، انرژی کمتری از سایز مشخص توربین تولید می‌شود. جریان هوا نزدیک زمین و دیگر اشیا می‌تواند جریان مغشوش ایجاد کند که باعث پیامدهای لرزش، شامل سروصدا و خستگی یاتاقان‌ها می‌شود و در نتیجه هزینه‌ی نگهداری ممکن است افزایش یابد و عمر کاری کم شود.

مزایای توربین های عمودی : توربین‌های بادی عمودی به جهت باد و آشفتگی جریان حساسیت کمتری دارند، این مزیت باعث می‌شود بتوان از آن‌ها در مناطق مختلف از جمله پشت بام ساختمان‌ها استفاده کرد. هنگام وزش بادهای مغشوش و گردابه‌ای عملکرد مناسبی دارند. توربین‌های بادی عمودی را می‌توان در فاصله نزدیک به زمین نصب کرد که این موضوع باعث امنیت و ارزانی، همچنین آسانی تعمیر و نگهداری می‌شود. نیازی به سیستم جهت یابی یاو (Yawing) ندارند.

معایب توربین های عمودی : در توربین‌های عمودی هنگام وزش باد، نیروی مخالفی به طرف دیگر توربین نیز وارد می‌شود. بنابراین بازدهی آن‌ها در هر دوره تناوب نسبت به توربین‌های محور افقی کمتر است. نصب این نوع توربین روی برج های بلند مشکل است؛ بدین معنی که آنها باید در جریان های هوایی آهسته تر با اغتشاش بیشتر و نزدیک زمین با بازده استخراج انرژی پایین تر عمل کنند.

شکل ۳- توربین بادی عمودی

جریان مدار کوتاه در طراحی نیروگاه بادی

در حال حاضر انرژی پاک مورد توجه کشورهای سرار جهان واقع گردیده است. از طرف دیگر نوآوری بی‌وقفه فناوری، رشد نیروی باد جلب توجه کرده است. تفاوت زیادی بین نیروگاه بادی و نیروگاه معمولی از نظر چیدمان واحد، ساختار سیستم، پیکربندی سیستم و انتخاب تجهیزات وجود دارد و لذا فعالیت نیروگاه معمولی ا نمی‌توان به طور کامل در طراحی نیروگاه بادی کپی نمود تا از خطاهای طراحی عمده پیشگیری کرد.

در طراحی مهندسی نیروی الکتریکی، محاسبه جریان مدار کوتاه مبنای انتخاب تجهیزات الکتریکی، انتخاب هادی جریان برق، تنظیمات و بررسی محافظت از دستگاه تقویتی بوده و نتایج به طور مستقیم بر ایمنی سیستم الکتریکی، اعتبار و هزینه پروژ تأثیر می‌گذارد. در این تحقیق به تحلیل تأثیرات مدل توربین بادی مختلف بر جریان مدار کوتاه پرداخته شده است. برای تحلیل یا محاسبه جریان مدار کوتاه نیروگاه بادی در داخل و خارج ایران، استاندارد واحدی وجود ندارد. در کشورهای خارجی روش محاسبه جریان مدار کوتاه بر اساس استاندارد IEC 60909 طراحی می‌شود. در حالی که روش محاسبه جریان مدار کوتاه در استاندارد ملی کشور ما اتخاذ می‌گردد. به خاطر مدل‌ها و روش‌های محاسبه مختلف، نتایج محاسبه مدار کوتاه نیروگاه بادی کاملا متفاوت‌اند.

روش محاسبه جریان مدار کوتاه در طراحی نیروگاه بادی:

ساختار سیسم جمع‌کننده و مولد اختلاف عمده بین نیروگاه عادی و بادی است. در حال حاضر مدل‌های جریان اصلی نیروگاه بادی به طور دوگانه با مولد القاگر و مولد همزمان آهنربا دائمی تغذیه می‌شوند که با توربین سنتی مانند توربین بخار و توربین آبی به لحاظ ساختار واحد و مدل محاسبه فرق می‌کند. سیم کشی مولد در کل ساختار زنجیره‌ای درون نیروگاه بادی همانند نوع سیم کشی واحد آن درون نیروگاه سنتی است.

روش عملی

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۰-۵۴
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

هنگام محاسبه جریان مدار کوتاه سیستم نیرو با روش عملی، امپدانس تمامی تجهیزات (واکنش به جای امپدانس در محاسبه به کار می‌رود تا محاسبه ساده‌سازی شود)که در شبکه به عنوان ارزش به ازای واحد متناظر محاسبه می‌شود که بر طبق ارزش مرجع نیرو متحد صرف بار شبکه است. سپس شبکه سیستم معادل طراحی می‌گردد، شبکه ساده‌سازی می‌شود و واکنش انتقال به دست آمده و جریان مدارد کوتاه هر تامین نیوری برای نقطه خطا به دست امده و ارزش کل جریان مدار کوتاه را می‌توان با خلاصه‌بندی حاصل نمود.

در روش عملی، جریان مدار کوتاه با دو نوع تأمین نیرو، با نام تأمین نیرو سیستم نامتناهی و تأمین نیرو محدود فراهم می‌شود:

برای سیستم دارای ظرفیت نامحدود تأمین نیرو، ولتاژ تأمین نیرو در طی مدار کوتاه ثابت نگه داشته می‌شود و ارزش هر واحد ولتاژ برابر ۱ است. جریان مدار کوتاه و تکانه‌های مدار کوتاه طبق زیر مطرح می‌شوند:

$$I_k^* = \frac{1}{x_*} \cdot \frac{S_d}{\sqrt{3}U_d} \qquad (1)$$

$$i_{sh} = k_{sh}\sqrt{2}I_k^* \qquad (2)$$

$$\kappa = 1 + e^{-0.01/T_a} \qquad (3)$$

که در آن I_k^* جریان مدار کوتاه متقارن اولیه می‌باشد. x^* برابر واکنش به مدار کوتاه است (اندیس * نشان می‌دهد که متغییر ارزش هر واحد است)، S_d ظرفیت مرجع است، U_d ولتاژ مرجع در نقطه است، i_{sh} جریان تکانه مدار کوتاه است، k_{sh} عامل تأثیر می‌باشد،

$$T_a = X_\Sigma / \omega R_\Sigma$$

X_Σ و R_Σ به ترتیب واکنش مدار کوتاه و مقاوت‌اند.

برای سهولت در محاسبات مهندسی K_{sh} مقادیر مختلفی به طور مستقیم بر طبق نقاط مدار کوتاه مختلف به جای استفاده از رابطه (۳) به خود می‌گیرد. هنگامی که نقطه مدار کوتاه مکان ولتاژ بالای ترانسفورمر در نیروگاه است، $K_{sh} = 1.85$ و هنگامی که نقطه مدار کوتاه محل دیگر شبکه نیرو ولتاژ باشد $K_{sh} = 1.8$.

به ازای سیستمی با ظرفیت تأمین نیرو محدود، در کل از روش منحنی محاسبه استفاده می‌شود. چون منابع زیادی وجود دارد که این روش را توصیف می‌کنند. به طور ویژه ظرفیت محدود تأمین نیرو می‌تواند به عنوان ظرفیت نامتناهی تأمین نیرو تلقی می‌شود هنگامی که $x_* \geq 3.45$

در روش عملی، واکنش معادل سیستم تغذیه‌کننده بر اساس رابطه (۴) براورد می‌گردد

$$x_{s^*} = {S_d}/{S_k}$$

S_k ظرفیت جریان مدار کوتاه مخزن تقسیم کننده است. مولد نیروی باد با موتور ولتاژ بالا پردازش می‌شود و جریان مدار کوتاه و جریان تأثیر مدار کوتاه را می‌توان بر اساس رابطه ۵ و ۶ برآورد نمود.

$$I_{kM}^* = \frac{1}{x_{M^*}} \cdot I_{MN} \qquad (5)$$

$$i_{shM} = k_{shM}\sqrt{2}I_{kM}^* \qquad (6)$$

نتیجه‌گیری

یکی از عوامل مهم و موثر در توسعه و پیشرفت کشورها تامین منابع انرژی مورد نیاز برای رشد کشور می‌باشد. از طرف دیگر، منابع سوخت‌های فسیلی موجود در جهان به سرعت در حال اتمام می‌باشد. یکی دیگر از معایب تامین انرژی مورد نیاز صنعت از طریق سوخت‌های فسیلی تولید آلودگی زیست محیطی فراوان می‌باشد. امروزه انرژی‌های نو به رغم ناشناخته ماندن، به سرعت در حال گسترش و نفوذ است و غفلت از آن، غیرقابل جبران خواهد بود. انرژی خورشیدی، بادی، آبی، زیست توده، زیست گاز و انرژی‌های زمین گرمایی از عمده‌ترین منابع انرژی‌های پاک به شمار می‌آید. انرژی باد از جمله انرژی‌های تجدید پذیر است که به علت گستردگی، قدرت بازدهی بالا، اقتصادی بودن و اینکه در مقایسه با دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر در ابعاد وسیع‌تری مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، عملاً از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. کشور ایران از جمله کشورهایی می‌باشد که پتانسیل قابل توجهی برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر مانند نیروگاه بادی دارد. بنابراین با حرکت به سمت استفاده از نیروی باد می‌توان هم از منابع پایدار انرژی برای توسعه صنعتی اطمینان حاصل کرد و همچنین از آلودگی بیشتر محیط زیست جلوگیری کرد. به خاطر تفاوت‌های موجود بین نیروگاه بادی و نیروگاه معمولی در مدل ریاضی و ساختار شبکه، این منجر به اختلاف زیادی بین نتایج کارکردی به ازای روش عملی محاسبه مدار کوتاه و روش IEC 60909 بین‌المللی معروف در طراحی مهندسی استفاده می‌شود. در این مقاله سعی شده تا با ساده‌سازی محاسبات جریان مدار کوتاه نرمال ارایه شده است.

منبع:

۱. حاجیلو، فخرالدین.، جلوخانی نیارکی، محمدرضا.، مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی با استفاده از مدل ANP-OWA (مطالعه موردی: استان زنجان)، نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره ششم، شماره ۱، شهریور ماه ۱۳۹۵.

۲. مرادی، میلاد.، دلاور، محمود رضا.، مرادی، اسدالله.، ارائه یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از انتگرال ساجنو، نظریه‌ی بازی‌ها و الگوریتم رقابت استعماری برای ارزیابی درجه تناسب اراضی برای تاسیس نیروگاه بادی (مطالعه موردی: استان همدان)، نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره پنجم ، شماره ۴ ، اردیبهشت ماه ۱۳۹۵.

۳. قادری شمیم، احمد.، حقی فام، محمود رضا.، مدل‌سازی نیروگاه بادی با روش فازی- مارکوف در مطالعات قابلیت اطمینان، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، سال ۹، شماره ۲، ۱۳۹۰.

4. https://www.enline.ir/energy/%D8%AA%D9%88%D8%B1%D8%A8%DB%8C%D9%86-%D8%A8%D8%A7%D8%AF%DB%8C/
5. Mingyang Liu, Wenxia Pan, Gang Yang, Hanjiang Liu, Di Wu., Analysis of Short-circuit Current Calculation Method in Wind Power Plant Design, China International Conference on Electricity Distribution, 2016.
6. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China, “GB/T 19963- 2005 Technical rule for connecting wind farm to power network,” Chinese Standard Press, 2006.