

آدرس: تهران - میدان ونک - خیابان خدای - روبروی هتل هما - شرکت مشانیر

شماره تماس: ۰۹۱۲۳۰۷۸۳۲۴ - ۴۴۶۲۶۵۵

چیدمانی بهینه توربینهای بادی در مزارع باد

مهندس شیوا شوندی

کارشناس مکانیک

شرکت خدمات مهندسی برق ایران (مشانیر) - بخش انرژیهای نو

چکیده :

در این مقاله بحث چیدمانی بهینه توربین های بادی و نحوه آرایش آنها در مزارع باد و نحوه چیدمانی توربین ها در نیروگاه بادی (خراسان) مورد بررسی قرار می گیرد و اشاره ای نیز به نحوه آرایش توربین ها در نیروگاه بادی منجیل و کشور اتریش خواهیم داشت.

در این مقاله تاکید بیشتر بر شبیه سازی کامپیوتری سایت های نیروگاهی جهت چیدمان بهینه توربینهای بادی توسط نرم افزارهای تخصصی باد می باشد.

واژه های کلیدی : توربین بادی - مزرعه باد - جریانهای گردابی^۱

مقدمه

باد پدیده ای است که در اثر حرکات درونی زمین اتفاق می افتد یا زمانی که تابش خورشید بطور نامساوی به سطوح ناهموار زمین می رسد که سبب تغییراتی در دما و فشار می شود . نیروی شیب فشار باعث وزش باد بطور مستقیم از مرکز پرفشار به مرکز کم فشار می شود . اما چرخش زمین باعث پیدایش نیروی دیگری به نام نیروی کریولیس می شود. که بر مسیر جریان اثر می گذارد.

در اثر فعالیت نیروی فشار و نیروی کریولیس در کنار یکدیگر باد پدیدار می شود. نیروی اصطکاک نیز بر سرعت و جهت باد اثر می گذارد. اتمسفر کره زمین به جهت حرکت وضعی گرما را از مناطق گرمسیری به مناطق قطبی انتقال می دهد که خود باعث بوجود آمدن باد می شود.

جریانات اقیانوسی نیز بطور مشابه تا ۳۰٪ عامل انتقال حرارت کلی در جهان می باشند.

انرژی باد نوع ویژه ای از انرژی خورشیدی محسوب می گردد و از انرژیهای تجدید پذیر است. و ۲/۵ درصد از انرژی خورشیدی که به زمین می رسد به باد تبدیل می شود. حدود ۳۵ درصد انرژی باد در 1 km^2 از سطح زمین موجود است برای تولید برق به مقدار زیاد که بتواند از شبکه سراسری برق را تغذیه کند نیاز به ایجاد مزرعه یا پارک بادی است که از مجموعه ای از توربین های بادی تشکیل شده است. بدین طریق می توان برق تولیدی را از نظر اقتصادی با نیروگاههای متداول قابل رقابت و عملکرد نیروگاه و هزینه نگهداری آن را به صرفه و بهینه نمود.

^(۱) در یک مزرعه بادی تعداد توربینهای بادی متناسب با ظرفیت نیروگاه متغیر است. برق تولیدی باید با کیفیت قابل قبول وارد شبکه شود و در دراز مدت بازده خوبی داشته باشد از جمله مسائل دیگر فاصله بهینه بین توربینهای نصب شده و نحوه آرایش آنها می باشد تا از زمین و باد موجود در منطقه حداکثر استفاده شود. بیشتر منابع انرژی باد در نواحی ساحلی و کوهستانی واقع شده اند. که بجهت اصطکاک زیاد با سطح ناهموار زمین قسمت بیشتری از قدرت آن کاهش یافته و بدین سبب است که سرعت وزش باد در روی دریاها بیشتر از خشکی است و سواحل دریاها از مناطق باد خیز محسوب می شوند.^(۱)

سایت یابی برای احداث نیروگاه بادی:

یکی از مهمترین مسائل در استفاده از انرژی باد موضوع سایت یابی یا انتخاب بهترین محل برای استقرار توربین های بادی می باشد. تعیین محل استقرار یک توربین بادی شامل مراحل مختلفی است که جزئیات آن تابع پارامترهای متفاوتی منجمله موجودیت و خصوصیات باد در منطقه باد خیز، موقعیت جغرافیای محل، اغتشاش باد، بادهای غالب، مخاطرات جوی، عوارض طبیعی و مصنوعی زمین می باشند. انتخاب سایت یکی از موضوعات فنی در بهره وری از انرژی باد است. از آنجایی که پتانسیل انرژی باد متناسب با توان سوم سرعت می باشد، بنابراین مکان هایی که در آنها سرعت متوسط سالیانه باد مناسب بوده و وزش مداوم باد در ساعات پیک مصرف برق صورت می گیرد از اهمیت خاصی برخوردارند. پس از سایت یابی مهمترین قدم در طراحی مزرعه

بادی انتخاب آرایش توربین ها می باشد. به طور کلی هر چه فاصله بین توربین ها در یک مزرعه بادی بیشتر باشد، انرژی قابل استحصال از آن توربین بیشتر خواهد بود آنچه این فاصله را محدود می سازد طول کابل ، میزان تلفات و محدودیت زمین می باشد.

همچنین صاف بودن سطح از بروز توربولانس های غیر قابل پیش بینی که بر عملکرد توربین بادی اثر منفی دارد می کاهد. اثر توربولانس اثرات زیان باری بر روی توربین های بادی دارد. از جمله:

الف) کاهش قدرت قابل اخذ به سبب نوسانات نیروی برآ (Lift force)

ب) تولید ارتعاش و اعمال بارهای نامتقارن بر روی توربین

چیدمانی توربین های باد در یک مزرعه بادی:

^(۲) توربینهای بادی با توجه به مورفولوژی (فرم و شکل) منطقه با فواصل مشخص و در شکل متقارن و مناسب، سازگار با منظره طبیعت طوری نصب می شوند که برای تولید ماکزیمیم قدرت، در جهت وزش باد غالب منطقه باشند.^(۳) جهت باد غالب توسط گلباد های رسم شده با نرم افزارهای تخصصی باد می تواند مشخص شود.

در صورت داشتن محدودیت در نوع زمین بهتر است از توربینهای با ظرفیت بالا استفاده شود و فواصل آنها در محاسبه شده و معقول از یکدیگر باشد. در یک مزرعه بادی فاصله بین توربینها باید به نحوی انتخاب شود که حداکثر بهره برداری از آنها اقتصادی ترین حالت آن انجام شود. {۳} تأثیر متقابل توربین و باد حداقل بستگی به دو عامل دارد:

۱- مشخصه های آئرودینامیکی توربین

۲- شرایط آب و هوایی منطقه استقرار {۳}

راندمان توربین بادی :

راندمان توربین های بادی تحت تأثیر پارامترهای مختلفی قرار دارد. برای روشن کردن این مسئله تأثیر شدید برخی پارامترها بر روی راندمان توربین بادی به وضوح برای یک توربین که سرعت روتور آن متغیر می باشد نشان داده خواهد شد . محاسبه راندمان توربین بادی براساس نقصان سرعت در ویک (Wake) مربوط به هر توربین بادی منفرد می باشد.

در برخورد سیال هوا با سرعت V_1 (که معادل سرعت باد است) از میان پره‌های توربین موجب چرخاندن روتور شده که بخشی از انرژی جنبشی آن توسط توربین جذب شده و نهایتاً جریان هوا با سرعت V_2 (که کمتر از سرعت ورودی (V_1) است) از پره‌ها خارج می‌شود هر چه سرعت خروجی هوا (V_2) کمتر باشد، انرژی بیشتری از باد توسط توربین دریافت می‌شود.

جرم هوایی که در یک ثانیه از میان پره‌ها عبور می‌کند (m) عبارتست از :

$$m = \frac{\rho \cdot A(V_1 + V_2)}{2}$$

که در آن :

$$\rho = \text{دانشتیه هوا} \quad V_1 = \text{سرعت باد جلوی روتور}$$

$$A = \text{مساحت عبور هوا از میان پره‌ها} \quad V_2 = \text{سرعت باد پشت روتور}$$

از طرفی قدرت قابل استحصال از باد توسط روتور، بستگی به جرم عبوری هوا از میان پره‌ها دارد که براساس قانون دوم نیوتن بشرح زیر محاسبه می‌شود.

$$p = \frac{1}{2} m(V_1^2 - V_2^2)$$

$$p = \frac{\rho}{4} (V_1^2 - V_2^2)(V_1 + V_2)A$$

البته قدرت نهایی باد (P_0) که برابر $\frac{1}{2} \rho A V_1^3$ می‌باشد بطور کامل توسط توربین دریافت نمی‌شود لذا نسبت قدرت قابل استحصال به قدرت نهایی به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{p}{P_0} = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2\right) \left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right)$$

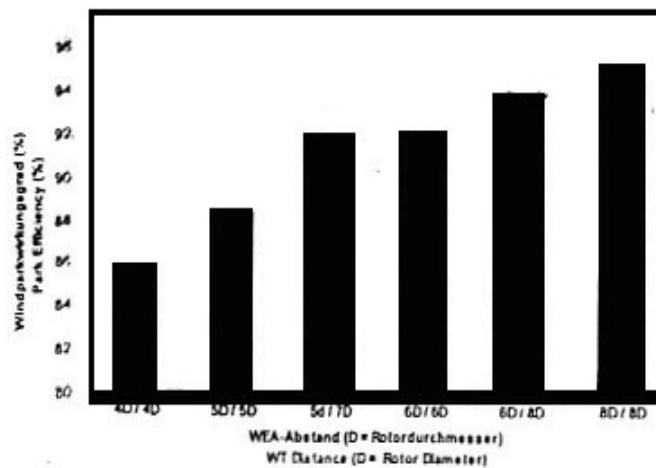
بنا براین نسبت $\frac{p}{P_0}$ تابعی خواهد بود برحسب نسبت $\frac{V_2}{V_1}$ بطوریکه هرچه $\frac{V_2}{V_1}$ کوچکتر باشد نسبت $\frac{p}{P_0}$ به مقدار نهایی یک نزدیکتر خواهد شد.

مطالعات بیشتر نشان داد که در حالت تئوری حداکثر مقدار $\frac{V_2}{V_1}$ برابر $\frac{1}{3}$ می‌باشد لذا نسبت $\frac{p}{P_0}$ برابر 0.59

محاسبه می‌شود یعنی اینکه در حالت تئوری 59 درصد انرژی باد توسط توربین‌های بادی قابل استحصال می‌باشد ولی در حال حاضر این نسبت برای توربین‌های ساخته شده 0.2 تا 0.4 می‌باشد.

قدرت قابل استحصال در یک توربین بادی با توان سوم سرعت متناسب است. $p = \frac{1}{2} \rho A V^3$

جریانهای گردابی (ویک) تولید شده در پشت توربینها، شکل (1-1) در اثر نقصان سرعت باد ایجاد شده، که تا حد زیادی به هندسه پره ها نیز وابسته است این جریانهای گردابی در صورتیکه فاصله بین دو توربین در مزارع بادی رعایت نشود، باعث ایجاد اختلالاتی در توربینها می شود. یکی از بارزترین این اختلالات ایجاد ارتعاش¹ و اثر خستگی³ در اثر بارهای متناوب بر روی پره های توربین است ضمن اینکه باد خروجی از توربین در برخورد با توربین بعدی دارای انرژی کافی نبوده و نمی تواند راندمان کافی در آن ایجاد نماید. لذا رعایت فاصله مناسب بین توربینهای بادی در یک مزرعه باد تأثیر قابل ملاحظه ای در راندمان توربین داشته و اثرات جریانهای گردابی (ویک)، در پشت توربینها را کاهش می دهد.



تأثیر فاصله توربین ها از هم بر راندمان مزرعه بادی

- 1- Vibration
- 2- Fatigue

^(۴) شکل (۲-۱) نشان می دهد که تحت شرایط یکسان، توربین های بادی در یک وضعیت استقرار خطی، نسبت به یک وضعیت استقرار مربع مستطیلی، از راندمان بالاتری برخوردارند.

با افزایش تعداد توربین های بادی در یک منطقه، میزان اثرات جریانهای گردابی افزایش یافته و در نتیجه راندمان کاهش می یابد.

اشکال (۳-۱) و (۴-۱) نتایج را در جهت دو شکل وضعیت استقرار توربین ها (خطی و مربع مستطیلی) روشن می سازد.

این اشکال نشان می دهند که یک مجموعه توربین های بادی با ظرفیت معین و با وجود چند توربین بادی بزرگ، در مقایسه با مجموعه دیگری با ظرفیت مشابه، اما دارای چندین توربین کوچک، از راندمان بالاتری برخوردار می باشند.^(۴)

محاسبات نحوه چیدمانی توربینهای بادی :

^(۵) دو روش بهینه سازی فاصله بین توربینهای بادی در مزارع باد عبارتند از :

الف - روش خطی :

در این روش فرض بر این است که تعدادی از توربینهای محور افقی مشابه و ساخت یک شرکت در یک خط مستقیم در فاصله مشخصی در راستای باد مستقر شوند.

منظور از بهینه سازی بدست آوردن فواصل $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}$ برای حداکثر توان لحظه ای از مجتمع بادی است. شکل (۵-۱) آرایش توربینها را نسبت به هم نشان می دهد.

سرعت باد V_0

فاصله تا توربین n ام X_i

طول مسیر استقرار توربین ها $L = (WEPP)$

اگر فرض شود V_0, V_1, \dots, V_{n-1} سرعت بادهایی می باشند که توسط توربین های شماره $0, 1, \dots, n-1$ دریافت می شود با توجه به اینکه توان تابعی از مکعب سرعت است داریم .

$$\text{maximize } \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^3 \quad (1)$$

لذا با توجه به اختلال ناشی از جریان دنباله ای (Wake) فرض می شود که x_f حداقل فاصله بین هر یک از توربین ها باشد بطوریکه :

$$\begin{aligned} X_1 &> X_f \\ X_i &> X_{i-n} + X_f \quad \text{for } i = 2, 3, \dots, n+1 \\ X_i &< L \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n-2 \end{aligned}$$

برای کاربرد روابط فوق جهت بهینه کردن فاصله توربینها، سرعت باد که توسط هر توربین دریافت می شود و متغیر x_f می بایست به صورت ریاضی با تغییرات فاصله و مشخصه توربین های مورد نظر مرتبط شوند. دو روش تحلیلی برای بدست آوردن فاصله بهینه عبارتند از :

یک روش توسط *Carfood* , *New man* , *Templin* انجام شده است و روش دیگر که معروف به مدل جریان دنباله ای است توسط *Abramovich* , *Lissa man* بررسی شده است.

مدل جریان دنباله ای در روش خطی^۲: مدل جریان دنباله ای توسط (*Lissa man*) و (*Abramovich*) بررسی شده است.

مدل جریان دنباله ای سه پارامتر مهم تغییر در مقدار حرکت ، نرخ رشد جریان دنباله ای و توزیع سرعت در جریان دنباله ای را به هم مرتبط می سازد معادلات عمده بدست آمده به شرح ذیل است :

۱- Wind energy power plant (WEPP)

2- Wake model

$$\Delta V_m = \Delta V_{m0} \frac{-0.258m + [(0.258m)^2 + 0.536(1-m)(r_0/r_w)^2]^{1/2}}{0.268(1-m)} \quad (2)$$

ΔV_m = تغییر سرعت در خط مرکزی جریان

ΔV_{m0} = تغییر سرعت در محور توربین

V_0 = سرعت جریان باد

$$m = \frac{V_0}{V_{m0}}$$

r_0 = شعاع اولیه جریان دنباله ای

r_w = شعاع رشد جریان دنباله ای

ΔV = تغییر سرعت باد در مسیر جریان دنباله ای

$$\Delta V = \Delta V_m [1 - (r/r_w)^{1.5}]^2 \quad (4)$$

r = شعاع مقطعی جریان گردابه ای

$$r_w = r_f + \frac{\alpha}{0.36} (X - X_f) \quad (5)$$

α = شدت اغتشاش

X = حداکثر فاصله بین دو توربین

X_f = حداقل فاصله بین دو توربین

r_f = شعاع جریان گردابه ای در حداقل فاصله بین توربینها

با حل معادلات ۱ تا ۴ ، فاصله بهینه در روش جریان دنباله ای بدست می آید.

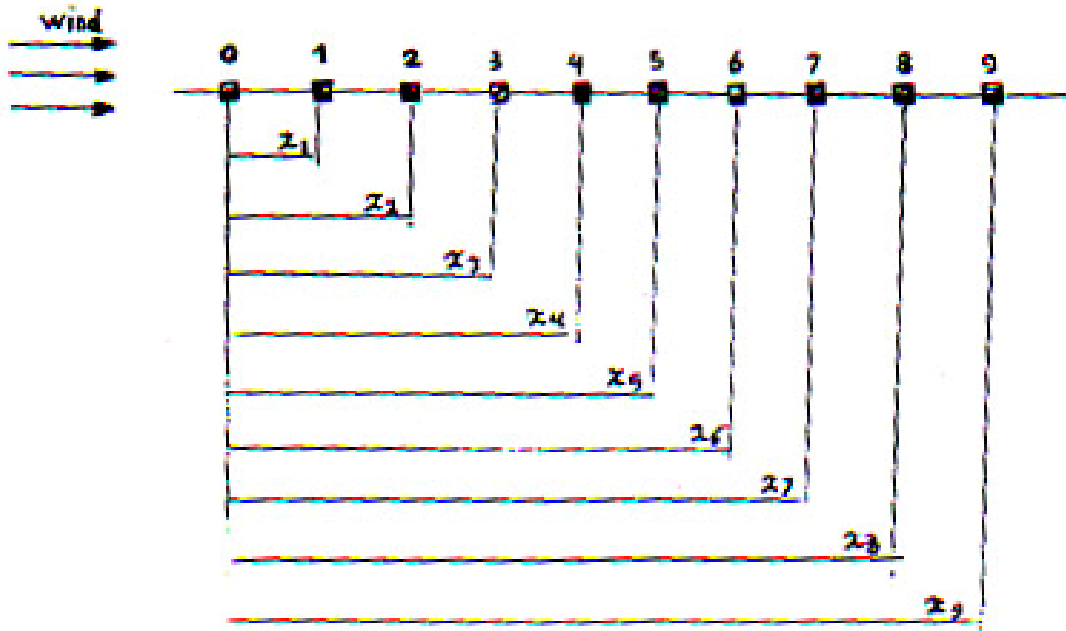
بعنوان مثال : فاصله بهینه بین دو دستگاه توربین بادی محور افقی با قدرت 160^{kw} و قطر ۲۶ متر در سرعت

ثابت $10^m/s$ محاسبه شده است. (شکل (۱-۵) روش قرار گرفتن توربینها و فاصله آنها را از هم نشان می دهد.

1- initial wake raduis
2- radius of wake growth
3- turbulence intensity

(جدول شماره ۱) - فاصله توربین های ۱۶۰ کیلوواتی نسبت به همدیگر

شماره توربین	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
فاصله از مبدأ (m)	0	127.44	251.77	371.42	470.17	577.77	682.43	786.75	899.27	1005.84
فاصله تاتوربین ماقبل (m)	0	127.44	124.33	119.56	98.75	107.60	104.66	104.32	112.52	106.57



شکل (۱ - ۵) : روش قرار گرفتن توربین ها و فاصله آنها از همدیگر

در این رابطه $X_9=1005.84$ بدست آمده و میانگین فاصله بین توربینها 111.76 متر خواهد شد که این فاصله حدوداً ۳ تا ۴ برابر قطر توربین است .

ب - روش غیر خطی :

در این روش استقرار بهینه توربینها در یک مجتمع در جهات X , Y مورد بررسی قرار می گیرد سه وضعیت در نظر گرفته شده برای باد به شرح ذیل است.

۱- جهت وزش و شدت باد ثابت

۲- جهت وزش متغیر ولی شدت باد ثابت است

۳- جهت وزش و شدت باد هر دو متغیر است

در این روش از مدل کاهش در جریان^۱ دنباله ای استفاده شده است و معادلات اصلی به شرح ذیل می باشد.

$$V = V_0 \left[1 - \frac{2a}{1 + \alpha(x/r_1)^2} \right] \quad (۶)$$

V = سرعت باد در پایین دست جریان

V_0 = سرعت باد در بالا دست جریان

a ^۲ = ضریب محوری

α ^۳ = ثابت ارتفاع

X = فاصله در پایین دست جریان

r_t = شعاع پره

r_1 = شعاع جریان در پایین دست جریان

1- wake decay model

2- axial induction factor

3- entrainment costant

ضریب رانش توربین (C_T) ضرایب a و r_1 با استفاده از روابط زیر بهم مرتبط می شوند .

$$C_T = 4a(1-a)$$

$$r_1 = r_i \left(\frac{1-a}{1-2a} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{0.5}{L_i(Z/Z_0)} \quad (8)$$

ثابت ارتفاع از رابطه (۸) محاسبه می شود.

ارتفاع دماغه توربین $Z =$

اگر فرض شود کاهش انرژی جنبشی یک جریان مختلط دنباله ای برابر با جمع انرژی کاسته شده باشد . سرعت بدست آمده در پایین دست جریان برای n توربین از روابط ذیل بدست می آید.

$$\left(1 - \frac{V}{V_0}\right)^2 = \sum^n i = 1 - \left(\frac{V_i}{V_0}\right)^2 \quad (9)$$

$V =$ متوسط سرعت باد

که با استفاده از روابط (۶) تا (۹) توانستند برای توربینهای با قطر ثابت 40 متر و ارتفاع هاب ۶۰ متر، محل استقرار توربین ها را به صورت مجتمع بادی به شکل نامنظم^۲ تعیین کنند . زبری سطح (Z_0) برابر با 0.3 متر برای منطقه ای به طول و عرض ۲ کیلومتر در نظر گرفته شده است نتایج حاصل در جدول (۲) برای وضعیتهای مختلف باد شرح داده شده است.

جدول (۲) حداقل فاصله توربین های بادی به قطر ۴۰ متر

حداقل فاصله توربینهای از هم (M)			تعداد توربین	وضعیت باد
مورب	عرض	طولی		
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۶	جهت وزش و شدت هر دو ثابت
۲۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۱۹	جهت متغیر ولی شدت ثابت
۲۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۱۵	جهت وزش و شدت هر دو متغیر

1- hub height

2- random

در روش اول تنها یک مسیر و یا یک خط استقرار مورد بررسی قرار می گیرد و فقط برای حالتی است که جهت وزش باد و شدت آن ثابت است .

و روش دوم بیشتر برای مناطق وسیع کاربرد دارد و استقرار توربینها را به صورت نامنظم نشان می دهد . از نتایج جدول ملاحظه می شود که فاصله ۵ تا ۱۰ برابر قطر روتور به صورت عمود و موازی جریان باد مورد نظر می باشد.^(۵)

نیروگاه بادی خراسان

نیروگاه بادی خراسان به ظرفیت ۲۸ مگاوات در استان خراسان واقع شده توپولوژی خاص منطقه، آن را به صورت یک دالان ارتباطی بین مناطق سرد شرقی و کویر در آورده و اختلاف دمای کویر در ساعتهای مختلف باعث ایجاد گرادیان فشار در طرفین این دالان می شود. لذا باد نسبتاً شدیدی در گستره ای به عمق تقریبی ۵۰ کیلومتر جریان می یابد.

که جهت وزش باد در این منطقه شمال به جنوب غربی و شرق به غرب و بالعکس است. باد معروف و غالب، از سمت شرق به غرب می وزد. در محل هایی که سطح قابل دسترسی و مستعد جهت نصب نیروگاه بادی محدود باشد حداقل فاصله ای که سازندگان توربین های بادی جهت نصب توربین های خود پیشنهاد می نمایند حداقل ۵ برابر قطر روتور در جهت باد غالب و سه برابر قطر روتور در جهت عمود بر باد غالب می باشد. اما در مناطق با وسعت زیاد همچون سایت نیروگاه بادی خراسان برای بالا بردن بازده کل مزرعه و در نتیجه استخراج بهینه انرژی از سرعت باد، این فاصله ۵ تا ۹ برابر قطر روتور در جهت باد غالب و ۳ تا ۵ برابر قطر روتور در جهت عمود بر باد غالب در نظر گرفته می شود.

بر این اساس با استفاده از نرم افزار شبیه سازی مزرعه باد^۱ (Wind pro) آرایش های گوناگون برای ۴۳ واحد توربین بادی VESTAS V47/660 KW در نظر گرفته شد و انرژی قابل استحصال از کل نیروگاه بجزاء هر آرایش محاسبه گردید.

لازم به ذکر است که در کلیه محاسبات شرایط ذیل در نظر گرفته شده اند.

1- Wind project

- ارتفاع متوسط سایت از سطح دریا ۱۴۵۰ متر

- دمای میانگین سالانه ۱۴۰

که در نتایج آنالیزهای مربوط به هر چیدمان از قبیل انرژی الکتریکی قابل استحصال از مزرعه ، بازده مجموعه توربینهای های بادی و انرژی استحصالی در هر قطاع جغرافیائی ، جدول و منحنی توان نیروگاه ، توابع توزیع وایبول و گلباد سرعت (جهت تعیین باد غالب) منطقه محاسبه گردیده است.

پس از بررسی نتایج بهترین چیدمان برای این سایت نیروگاهی و بهترین آرایش انتخاب گردیده که در این حالت بهینه، نسبت به چیدمانهای دیگر تولید انرژی الکتریکی بیشتر خواهد بود.

بازده مزرعه:

این پارامتر که تابع آرایش و جانمایی تک تک توربین هاست. در چیدمان بهینه (چیدمان ۵) ۹۵/۵٪ می باشد.

انرژی خروجی سالیانه:

در این حالت (چیدمان ۵) انرژی خروجی سالیانه ناخالص و انرژی خالص سالیانه نسبت به چیدمانهای دیگر بیشتر است.

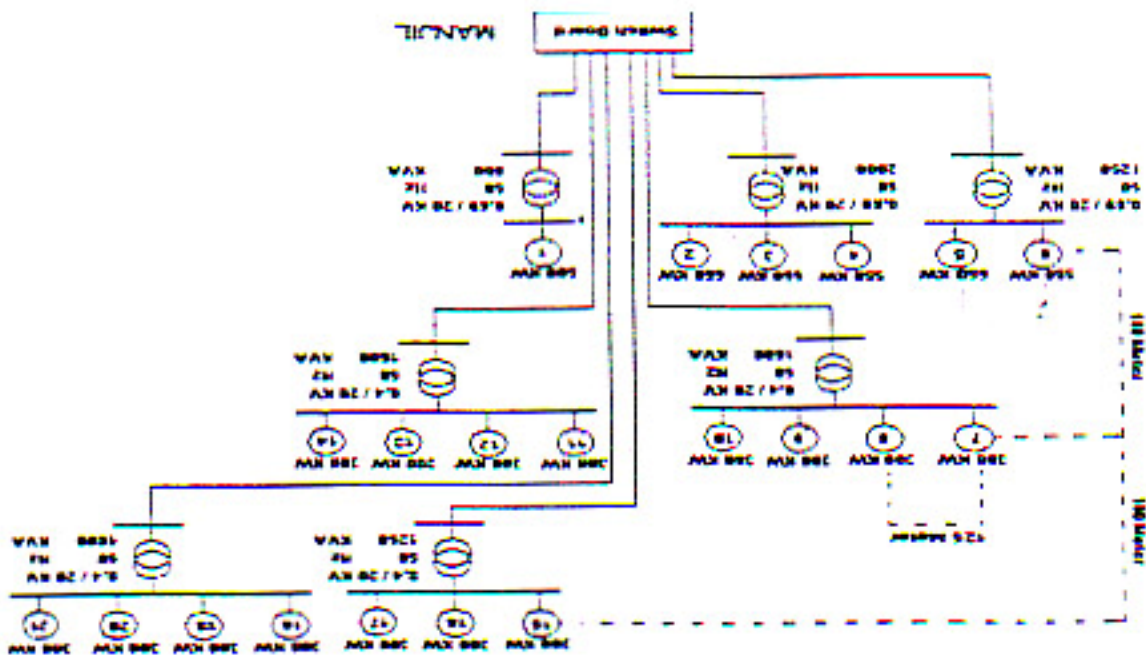
که انرژی خروجی سالیانه خالص ۱۰٪ از انرژی خروجی سالیانه ناخالص کمتر خواهد بود نتایج در محاسبات نشان داده شده است.

^(۱) در مورد مزرعه بادی تاورن در اتریش^۱ فاصله بین توربین ها برابر ۲/۸ قطر روتور انتخاب شده است. یعنی به فاصله ۱۷۳/۶ متر. قطر روتور هر کدام از توربینهای مجتمع ۶۲ متر است و ارتفاع دماغه توربینها از سطح زمین برابر ۴۹ متر می باشد.

هر کدام از توربینها در شرایط باد منطقه، سالانه حدود ۳ میلیون کیلووات ساعت برق تولید می نماید.^(۱) این مزرعه بادی در سال ۲۰۰۱ به ظرفیت کل ۱۵/۶ مگاوات متشکل از ۱۲ توربین هر کدام به ظرفیت ۱/۳ مگاوات و با هزینه کل ۲۰ میلیون یورو از شرکت دانمارکی بونوس^۲ خریداری و احداث گردید.

1- Tauern wind park- oberzeiring
2 - BONUS

(۱) در مورد مجتمع نیروگاه والفجر منجیل که تعداد ۲۱ توربین بادی از شرکت نوردتاک دانمارکی در طی سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۸ در کنار سد سفیدرود خریداری و نصب شده اند. تعداد یک توربین ۵۰۰ کیلوواتی، پنج توربین ۵۵۰ کیلوواتی، و پانزده توربین ۳۰۰ کیلوواتی طبق شکل‌های ۴ توربینها در سه ردیف و به فاصله حداقل ۱۸۰ متر و در هر ردیف به فاصله حداقل ۲۵ متر از یکدیگر نصب شده اند. (۱)



آرایش توربینها در نیروگاه بادی منجیل

وضعیت نیروگاههای بادی در جهان:

تا پایان سال ۲۰۰۲ ظرفیت تولید ۳۱/۱۱۷ مگاوات بوده است این رقم تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۳ به ۳۹/۱۵۱ مگاوات رسیده است. در سال ۲۰۰۴، انرژی بادی در جهان حدوداً ۸ مگاوات نسبت به سال ۲۰۰۳ افزایش خواهد داشت. اکنون بیش از گذشته دولتها به لزوم استفاده از منابع تجدید پذیر در عوض اتکا بر سایر منابع انرژی از جمله فسیلی و هسته ای که با ریسک بالای سیاسی و اقتصادی همراه می باشد، وقوف پیدا کرده اند. نیروگاههای بادی ۳۰-۴۰ درصد انرژی جنبشی را به الکتریسته تبدیل می کنند و نیروگاههای فسیلی ۴۰-۳۵ درصد انرژی پتانسیل را به الکتریسته تبدیل می کنند.

طبق بررسی های صورت گرفته توسط (سازمان جهانی انرژی باد^۱) انتظار می رود که در سال ۲۰۰۸، ظرفیت انرژی بادی بمیزان ۱۰۰،۰۰۰ مگاوات افزایش یابد. یک توربین بادی می تواند ۴ تا ۱/۵ میلیون (کیلووات ساعت) در سال انرژی الکتریکی تولید کند که برای ۴۰۰-۱۵۰ خانه در سال کفایت یک سناریوی پیش بینی شده جهت مصرف منابع انرژی های مختلف در سراسر جهان تا سال ۲۱۰۰ ارائه گردیده است. (شکل ۱-۶) با توجه به آنکه مقدار تقاضای انرژی در جهان حدوداً به میزان ۲/۵ برابر افزایش می یابد، کلیه سوختهای فسیلی و اتمی، تا سال ۲۱۰۰ توسط ترکیبی از منابع انرژی خورشید، باد، بیوماس، ژئوترمال و هیدرولیکی جایگزین می گردند و در آن هنگام جمعیت دنیا حدوداً ۱۱ میلیون نفر خواهد بود.

از نظر ظرفیت کل، کشور آلمان با ۱۴۶۰۹ مگاوات (ظرفیت تولید و نصب شده) (۳۷٪) ظرفیت جهانی هنوز در بازارهای جهانی پیشتاز می باشد و بترتیب کشورهای ایالات متحده آمریکا (۶۳۷۰ مگاوات و ۱۶٪ سهم بازار)، اسپانیا (۶۲۰۲ مگاوات و ۱۶٪ سهم بازار) دانمارک (۳۱۱۰ مگاوات و ۸٪ سهم بازار) و هند (۲۱۱۰ مگاوات و ۵٪ سهم بازار) در رتبه های بعدی قرار دارند.

1- WWEA : world wind Energy Association

نتیجه گیری:

امروزه انرژی یکی از ارکان مهم اقتصادی جهان به شمار می رود. با توجه به محدودیتهای موجود ارتقاء بهره وری از مهمترین کارهایی است که باید انجام شود در بحث نیروگاههای بادی رعایت فاصله بهینه بین توربینهای بادی در مزارع باد تأثیر بسیار زیادی در استفاده، بهینه از انرژی و افزایش راندمان در نیروگاه خواهد داشت.

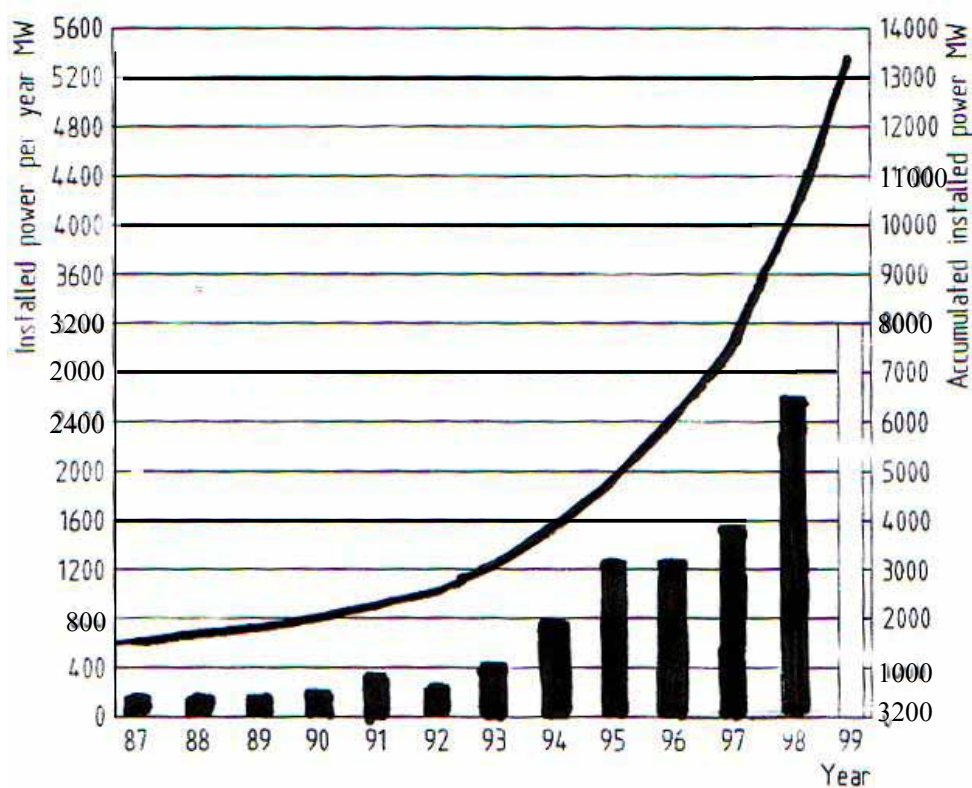


Fig. 16.37. Global wind power development [19]

توسعه انرژی باد در سراسر جهان تا سال ۱۹۹۹

منابع:

1- M. Jamil K. abbaspour Sani, E. khorasani

Materials and energy research center (MERC)

The optimum distance between wind turbines in a wind power plant.

۲- دکتر مجید جمیل "مقدمه ای بر نیروگاه های بادی"، ۱۳۸۳، ناشر: روابط عمومی شرکت توانیر

۳- دکتر علی کیایی فر "مطالعه انرژی بادر در دشت دیزباد خراسان"

۴- گزارش سازمان آب و برق خوزستان

۵- وزارت نیرو مرکز مطالعات انرژی " تخمین پتانسیل انرژی باد در جمهوری اسلامی ایران " گزارش نهایی ،

جلد اول

6- Garry L.Janson "wind energy systems, second eddition.

7- P.A. Smith and P.K. Stansby

Impulsively started flow around a circular cylinder by the vortex method.

8- WWEA: wind world energy association.

9- Erick Hau "wind turbines" 2000