

# طراحی توربین بادی محور افقی برای استان خراسان جنوبی مطالعه موردی: ایستگاه فدشک

مهدی جهانگیری<sup>۱</sup>، رسول کلباسی<sup>۱</sup>، علی عبدالهی<sup>۱</sup>، احمد صداقت<sup>۲</sup>، محسن ثقفیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان

<sup>۲</sup> استادیار گروه مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان

*M.Jahangiri@me.iut.ac.ir*

*R.kalbasi@me.iut.ac.ir*

*A.Abdollahi@me.iut.ac.ir*

*Sedaghat@cc.iut.ac.ir*

*Saghafian@cc.iut.ac.ir*

## چکیده

پتانسیل باد، برای تولید انرژی پاک، در بسیاری از نقاط ایران قابل توجه است. در این مقاله یک تحلیل آماری روی داده‌های بادی ایستگاه فدشک در استان خراسان جنوبی انجام شده و همچنین یک توربین محور افقی برای این ایستگاه طراحی شده است. به منظور برآورد اولیه انرژی باد در این ایستگاه محاسبات لازم بر روی اطلاعات آماری اندازه‌گیری شده توسط سازمان انرژی‌های نو ایران انجام شده است. با توجه به نوع داده‌ها سعی شده محاسبات در یک بازه یک‌ساله انجام گیرد. ابتدا سرعت باد در ارتفاع‌های ۴۰ متری، ۳۰ متری و ۱۰ متری در ماه‌های مختلف مطالعه شده است. این ایستگاه دارای میانگین سرعت به ترتیب ۶/۱۵۵، ۶/۰۲ و ۵/۰۶ متر بر ثانیه در ارتفاع‌های یاد شده است. همچنین گلباد بیشترین جهت وزش باد بررسی گردیده است. جهت غالب باد نیز در طول سال برای ایستگاه فدشک بدست آمده است که تقریباً در طول سال جهت باد ثابت و از سمت جنوب شرقی می‌باشد. این موضوع در امر چیدمانی توربین‌ها مهم است و ثابت بودن جهت باد مزیت عمده‌ای برای نیروگاه می‌باشد. با تخمین پتانسیل انرژی باد توسط تابع توزیع احتمال ویبول برای دوره مورد بررسی، چگالی توان باد بدست آورده شده و با انتخاب دو توربین باد متفاوت در حالت واقعی، میزان انرژی که سالانه از این سایت حاصل می‌شود، برآورد شده است.

**واژه‌های کلیدی:** انرژی باد، ایستگاه فدشک، توربین بادی محور افقی، توزیع ویبول، چگالی توان، گلباد.

## ۱-مقدمه

در سال ۲۰۰۸ مصرف انرژی جهان معادل ۴۷۴ اگزاجول ( $4.74 \times 10^{20} J$ ) بوده که ۸۰ تا ۹۰ درصد انرژی مصرفی

جهان از منابع فسیلی حاصل شده است [۱]. این در حالیست که پتانسیل انرژی باد به عنوان یکی از منابع تجدیدپذیر انرژی حدود ۱۵ برابر مصرف انرژی جهان است [۲]. امروزه استفاده از این منبع انرژی با نرخ رشد فزاینده‌ای در حال افزایش است. بر اساس آمارهای منتشر شده از سوی انجمن انرژی باد اروپا، در سال ۲۰۰۸ حدود ۴۳ درصد از تجهیزات نصب شده جدید جهت تولید انرژی در اروپا مربوط به انرژی باد بوده است [۳]. در ایران، به عنوان اولین تمدنی که ۹۰۰ سال قبل از میلاد از انرژی باد برای پمپ آب و خرد کردن دانه استفاده کرده است [۴]، فعالیت‌هایی در راستای تولید توان از منابع بادی در حال انجام است. در ایران، ظرفیت تولید ۱۰ هزار مگاوات برق از نیروگاه‌های بادی پیش‌بینی شده است که در حال حاضر نیروگاه بادی منجیل با ظرفیت ۷۰ مگاوات و نیروگاه بادی بینالود با ظرفیت ۲۸ مگاوات برق تولید می‌کند [۵]. طبق گزارش سازمان جهانی انرژی باد [۶]، ایران با ۲۳/۳٪ رشد در رده سی و پنجم تولید برق بادی جهان در سال ۲۰۰۸ قرار داشته است. آمریکا، آلمان، اسپانیا، چین و هند با تولید ۲۰ هزار تا ۱۰ هزار مگاوات در رده‌های نخست قرار دارند. در زمینه بررسی منابع انرژی باد در ایران جهت تولید برق کارهای متعددی تاکنون انجام شده است که از آن جمله می‌توان به تهیه اطلس باد کشور توسط سازمان انرژی‌های نو اشاره کرد [۵]. رحیم زاده و جهانگیری [۷] با استفاده از روش‌های آماری و اطلاعات هواشناسی سرعت و چگالی انرژی باد را در چند ایستگاه هواشناسی کشور بررسی نمودند. گندمکار و همکاران [۸] تغییرات سالانه و روزانه سرعت باد در منطقه سیستان را جهت تولید برق بادی مورد مطالعه قرار دادند. عامری و همکاران [۹]، پیشرفت‌های اخیر در توسعه انرژی باد در کشور را با اشاره‌ای به تهیه نقشه صفر اطلس بادی کشور بیان نمودند. آنها با یک مطالعه نرم افزاری توسط ECOWIND و با استفاده از داده‌های آماری باد، منحنی عملکرد توربین باد و پارامترهای اقتصادی تخمین مناسبی برای قیمت تمام شده برق پیدا کردند که بررسی‌های آنها حاکی از اقتصادی بودن برق تولیدی در نیروگاه بادی منجیل و بینالود است. همچنین پتانسیل انرژی باد در منطقه منجیل توسط مصطفایی پور و ابرقوئی [۱۰] بررسی شد که این منطقه به عنوان یکی از مناطق بادخیز جهان معرفی شده است.

در این مقاله پتانسیل انرژی باد در ایستگاه فدشک [۵] در استان خراسان جنوبی، در ۱۲ ماه متوالی مورد بررسی قرار گرفته است. پتانسیل انرژی باد در این ایستگاه با استفاده از تابع توزیع احتمال ویبول برآورد شده است. همچنین پتانسیل تولید توان توسط دو توربین باد که نمودارهای عملکرد آنها در سرعت‌های مختلف موجود است محاسبه شده است.

## ۲- ایستگاه مورد مطالعه

فدشک دهی است از دهستان مرکزی بخش خوسف شهرستان بیرجند، واقع در ۶ هزارگزی جنوب باختری خوسف و ۸ هزار گزی جنوب جاده شوسه عمومی خوسف به خور. ناحیه‌ای است واقع در جلگه و گرمسیر که از قنات و رودخانه و مشروب می‌شود. محصولاتش غلات و پنبه است. اهالی به کشاورزی گذران زندگی می‌کنند. بر اساس سرشماری سال ۱۳۸۵ مرکز آمار ایران جمعیت آن بالغ بر ۱۰۳۳ نفر بوده است. لذا توان ۱۰kW برای این منطقه مناسب می‌باشد. اطلاعات سرعت و جهت باد از تاریخ ۲۰۰۷/۱/۱ (۱۳۸۵/۱۰/۱۱) تا ۲۰۰۸/۱/۱ (۱۳۸۶/۱۰/۱۱)، در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه برای هر داده برداری، استفاده شده است [۵].

### ۳- تحلیل آماری داده‌های بادی

#### ۳-۱- توزیع ویبول (Weibull distribution)

برای تعیین پتانسیل انرژی باد در یک سایت مورد نظر و تخمین انرژی خروجی از این سایت از روش‌های آماری استفاده می‌شود. اگر سری زمانی داده‌های اندازه‌گیری شده در یک ارتفاع خاص موجود باشد می‌توان تابع توزیع چگالی احتمال سرعت را بصورت زیر نوشت [۴]:

$$p(U_a \leq U \leq U_b) = \int_{U_a}^{U_b} p(U) dU \quad (1)$$

که در آن  $U$  نمایانگر سرعت و  $\int_c^\infty p(U) dU = 1$  یکی از این توابع که صحت آن با اندازه‌گیری در نقاط مختلف جهان ثابت شده است، تابع توزیع چگالی احتمال ویبول است که نیازمند دو پارامتر  $k$  (ضریب شکل) و  $c$  (ضریب مقیاس) است و به فرم زیر می‌باشد:

$$p(U) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

همچنین تابع توزیع انباشتگی (cumulative distribution function) که برای تخمین زمانی که سرعت باد در یک بازه خاص قرار می‌گیرد به صورت رابطه (۳) است است [۴، ۱۱]:

$$F(U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right] \quad (3)$$

برای تعیین  $c$  و  $k$  از روابط تجربی زیر استفاده می‌شود [۴، ۱۲]:

#### ۳-۱-۱- رابطه تجربی ارائه شده توسط Justus

با داشتن انحراف معیار و سرعت متوسط می‌توان ضرایب  $k$  و  $c$  را مطابق فرمول زیر بدست آورد.

$$k = \left(\frac{\sigma_U}{U}\right)^{-1.086} \quad (4)$$

$$c = \frac{\bar{U}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (5)$$

در رابطه اخیر  $\Gamma$ ، تابع گاما می‌باشد.

#### ۳-۱-۲- رابطه تجربی Lysen

در روش فوق ابتدا ضریب  $k$  از معادله (۴) بدست آمده و سپس به کمک معادله زیر مقدار  $c$  بدست می‌آید.

$$\frac{c}{U} = \left(0.568 + \frac{0.433}{k}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (6)$$

در رابطه اخیر  $\sigma_U$ ، انحراف معیار استاندارد و  $\bar{U}$ ، سرعت متوسط داده‌ها است.

### ۳-۲- چگالی توان

چگالی توان باد (توان باد بر واحد سطح) به دانسیته هوا (در شرایط استاندارد سطح دریا  $\rho = 1.225 \frac{kg}{m^3}$ ) و توان سوم سرعت باد بستگی دارد. توان باد علاوه بر این به مساحت جاروب شده توسط روتور توربین باد (قطر روتور) وابسته است. چگالی توان متوسط به صورت زیر تعریف می شود:

$$\frac{\bar{P}}{A} = \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} U^3 p(U) dU \quad (7)$$

همچنین چگالی انرژی باد در یک بازه زمانی داده شده عبارتست از:

$$\frac{\bar{E}}{A} = \left( \frac{\bar{P}}{A} \right) (N \Delta t) \quad (8)$$

نسبت  $K_e = \frac{U^3}{(\bar{U})^3}$  بعنوان ضریب الگوی انرژی تعریف شده که برابر توان کل در دسترس باد به توانی که از مکعب کردن سرعت متوسط حاصل می شود، است.

برای تخمین توان کلی که از نصب یک توربین باد می توان در یک سایت بدست آورد،  $\bar{P}_w$  با داشتن تابع توزیع چگالی احتمال سرعت باد،  $p(U)$ ، و نمودار توان توربین،  $P_w(U)$ ، داریم:

$$\bar{P}_w = \int_0^{\infty} P_w(U) p(U) dU \quad (9)$$

انتگرال فوق با استفاده از روش های عددی قابل محاسبه است. از روش ذوزنقه در حل انتگرال فوق داریم [۱۱]:

$$\bar{P}_w = \sum_{i=1}^{N_B} \frac{1}{2} (U_{i+1} - U_i) \times (p(U_{i+1}) P_w(U_{i+1}) + p(U_i) P_w(U_i)) \quad (10)$$

### ۴- روش کلی طراحی روتور

روش طراحی روتور با انتخاب پارامترهای مختلف روتور آغاز و با انتخاب نوع ایرفویل مناسب ادامه می یابد. شکل مناسب و اولیه ای از پره با در نظر گرفتن گردابه چرخشی مشخص می شود. شکل نهایی و عملکرد پره را می توان به روش تکراری با در نظر گرفتن پسا، اتلافات لبه، پارامترهای ساخت، بهینه کرد. نهایتاً می توان مراحل زیر را برای طراحی پره در نظر گرفت.

#### ۴-۱- تعیین پارامترهای پایه روتور

با توجه به توان مورد نظر (P) و سرعت متوسط باد در محل (U)، با انتخاب Cp و  $\eta$  می توان شعاع پره را طبق رابطه زیر به دست آورد.

$$P = C_p \eta \times \frac{1}{2} \times \rho \pi R^2 U^3 \quad (11)$$

مطابق بانوع کاربرد، سرعت لبه مناسب  $\lambda$ ، انتخاب می شود. به عنوان مثال برای آسیاب های آبی که گشتاور بزرگتری احتیاج است،  $\lambda$  مناسب  $3 < \lambda < 10$  خواهد بود. برای کاربردهای تولید توان الکتریکی  $10 < \lambda < 4$  انتخاب مناسب خواهد بود. ماشینهای بادی با سرعت بالاتر به مواد کمتری در پره ها احتیاج داشته علاوه بر اینکه جعبه-

دنده کوچک مناسب‌تر برای این نوع ماشین‌های بادی است [۴]. تعداد مناسب تیغه‌ها را با توجه به جدول (۱) می‌توان انتخاب کرد. اگر تعداد تیغه‌ها از عدد ۳ کمتر باشد، مشکلات دینامیکی سازه را نیز باید در طراحی هاب مورد بررسی قرار داد.

جدول ۱- تعداد مناسب پره با توجه به سرعت لبه

$\lambda$	B
۱	۸-۲۴
۲	۶-۱۲
۳	۳-۶
۴	۳-۴
$\geq 5$	۱-۳

ایرفویل مناسب را با توجه به مقدار ( $\lambda$ ) انتخاب می‌کنیم. اگر  $\lambda < 3$  باشد، ایرفویل صفحه‌ای و اگر  $\lambda > 3$  ایرفویل با اشکال آیرودینامیکی مورد احتیاج است. با توجه به نوع ایرفویل انتخاب شده در مرحله‌ی قبل ضرایب لیفت و دراگ را برحسب زاویه حمله رسم و زاویه حمله‌ی بهینه  $\alpha_{Design}$  (زاویه‌ای که در آن  $\frac{C_d}{C_l}$  مینیمم شود) را به دست آورده و از روی نمودار  $C_{d,Design}$  و  $C_{l,Design}$  را مشخص می‌کنیم. تیغه را به N قسمت (معمولا ۱۰-۲۰) تقسیم می‌کنیم. با استفاده از تئوری روتور بهینه، شکل (۱) امین قسمت تیغه به شعاع  $r_i$  را تخمین می‌زنیم. با ترکیب نتایج تجربی مراحل قبل می‌توان زاویای گام  $\theta_p$  و پیچش  $\theta_T$  را برای هر قسمت از ایرفویل به روش تکراری به دست آورد.

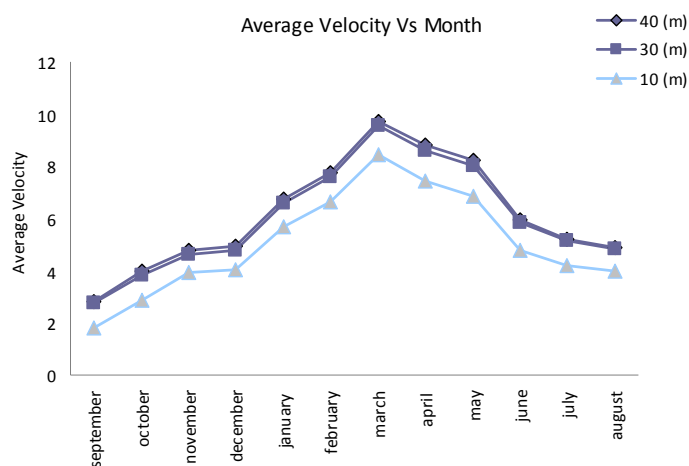
## ۵- نتایج

تعداد داده‌های سرعت باد ۵۲۵۵۹ مورد با فاصله زمانی ۱۰ دقیقه است که تحلیل روی آن انجام شده است. اندازه‌گیری‌ها در ارتفاع‌های ۴۰ متری، ۳۰ متری و ۱۰ متری انجام شده است. در جدول (۲) پارامترهای مربوط به سرعت و توان باد که از تحلیل آماری در سه ارتفاع یاد شده بدست آمده آورده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود ایستگاه فدشک با داشتن سرعت متوسط سالیانه  $\bar{U} = 6.155 \frac{m}{s}$  توانایی تولید حداکثر توان  $P = 285 \text{ (W/m}^2\text{)}$  را دارد. توزیع سرعت متوسط ماهانه در شکل (۲) ترسیم شده است. برای منطقه فدشک بیشترین سرعت در ماه مارچ با بیشترین سرعت متوسط ماهانه  $\bar{U} = 9.7 \frac{m}{s}$  و حداقل آن در ماه سپتامبر با کمترین سرعت متوسط ماهانه  $\bar{U} = 2.81 \frac{m}{s}$  اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه پتانسیل انرژی باد نصب توربین بادی در سرعت متوسط کمتر از  $4.5 \frac{m}{s}$  ضعیف،  $4.5 - 5.4 \frac{m}{s}$  مرزی،  $5.4 - 6.7 \frac{m}{s}$  خوب تا خیلی خوب و برای سرعت‌های بالاتر از  $6.7 \frac{m}{s}$  عالی ارزیابی می‌شود [5]، لذا می‌توان منطقه فدشک را در ارزیابی بادخیزی به صورت

جدول (۳) طبقه بندی کرد.

جدول ۲- محاسبه پارامترهای مربوط به سرعت و توان باد

ایستگاه فدشک			
سرعت (m/s)	ارتفاع (m)		
	۴۰	۳۰	۱۰
متوسط	۶/۱۵۵	۶/۰۲	۵/۰۶
توان باد ( $W/m^2$ )	۲۸۵/۱۵	۲۶۸/۴۳	۱۷۳/۹۸
فاکتور انرژی	۱/۹۹	۲/۰۰	۲/۱۸۶

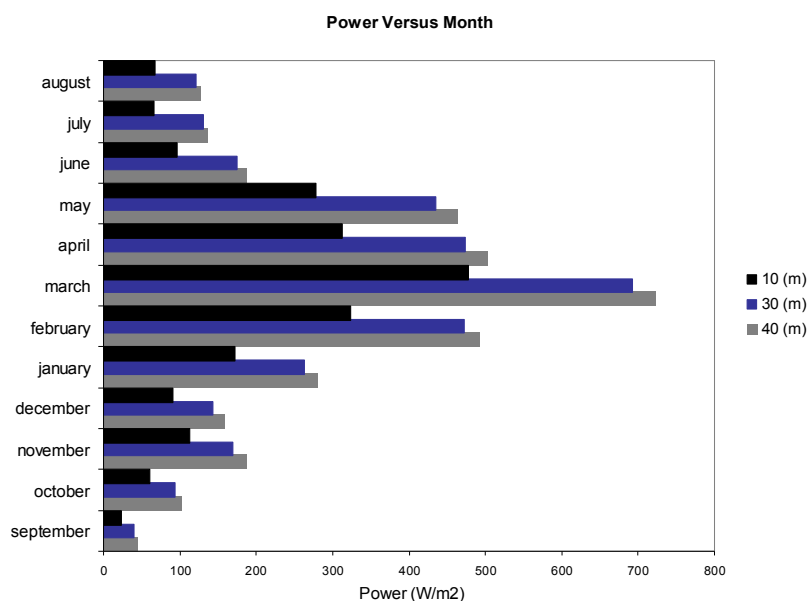


شکل ۲- توزیع سرعت متوسط ماهانه

شکل (۳) چگالی انرژی باد ماهیانه در ارتفاعهای ۴۰ متری، ۳۰ متری و ۱۰ متری را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود بیشترین توان در ماه مارچ  $p = 720 \frac{W}{m^2}$  و کمترین توان در ماه سپتامبر  $p = 45 \frac{W}{m^2}$  اتفاق می‌افتد.

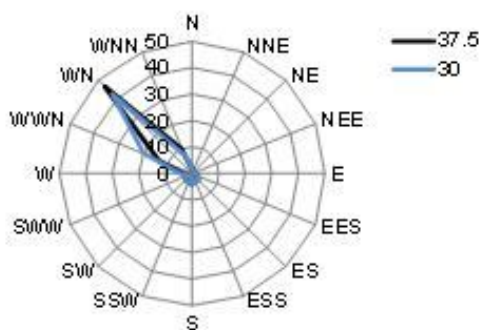
جدول ۳- ارزیابی بادخیزی

تعداد ماه	نوع ارزیابی
۲	ضعیف
۴	مرزی
۱	خوب
۵	عالی

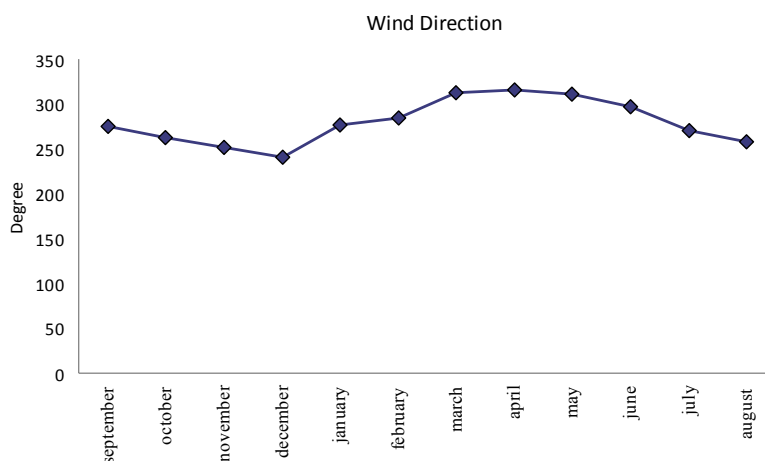


شکل ۳- تغییرات توان متوسط ماهانه

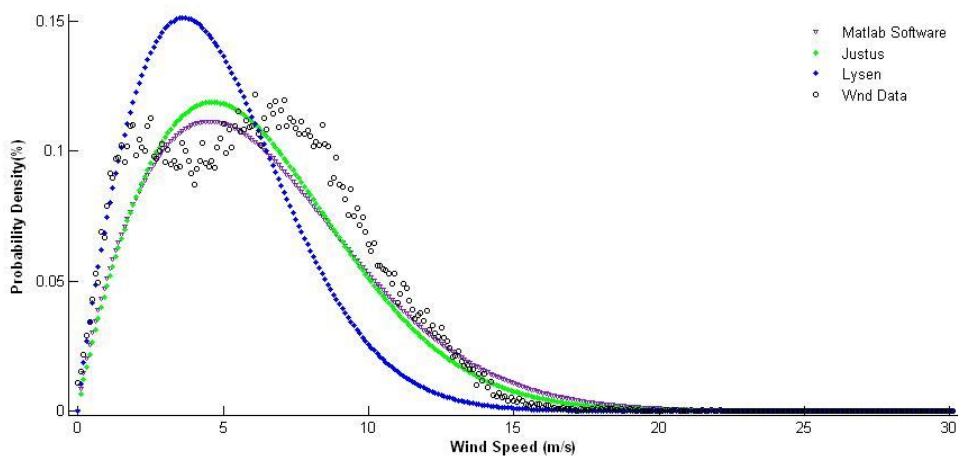
گلباد نموداری است که توزیع جهت باد را نشان می‌دهد. در شکل (۴) گلباد بر اساس زمان (فرکانس) وزش در ارتفاع ۳۷/۵ متری و ۳۰ متری نشان داده شده است. با توجه به شکل تقریباً می‌توان ادعا کرد که تمام وزش باد در جهت شمال غربی و یا نزدیک به آن اتفاق افتاده است. در شکل (۵) جهت غالب باد در طول سال برای منطقه فدشک نشان داده شده است. تقریباً در طول سال جهت باد ثابت و از سمت جنوب شرقی می‌باشد. این موضوع در امر چیدمانی توربین‌ها مهم است و ثابت بودن جهت باد مزیت عمده‌ای برای نیروگاه می‌باشد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد برای تعیین پتانسیل انرژی باد در سایت مورد نظر و تخمین انرژی خروجی از این سایت از تابع توزیع ویبول استفاده می‌شود. رسم تابع توزیع ویبول توسط نرم‌افزار مطلب انجام شده است. به منظور مقایسه و اعتبارسنجی روابط ارائه شده برای محاسبه ضریب شکل و فاکتور مقیاس (معادلات (۴)، (۵) و (۶)) در جدول (۴) این ضرائب توسط نرم‌افزار مطلب و توسط معادلات پیشنهادی محاسبه و جمع‌آوری شده است. ملاحظه می‌شود که دقت معادله تجربی ارائه شده توسط Lysen از دقت کمتری نسبت به معادله Justus برخوردار است. در شکل (۶) دقت این روش‌ها توسط نمودار نشان داده شده است.



شکل ۴- گلباد براساس فرکانس وزش باد در ۳۰ متری و ۳۷/۵ متری



شکل ۵- توزیع جهت غالب باد در طول سال



شکل ۶- تابع توزیع ویبول

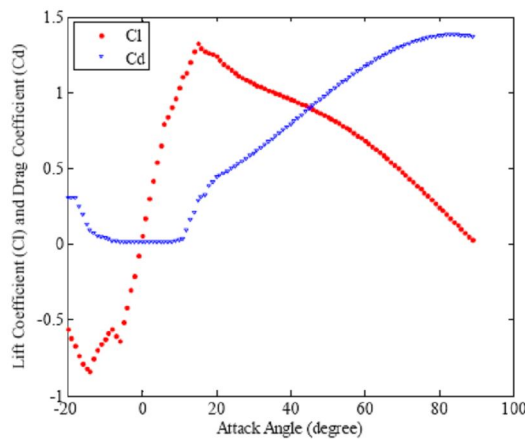
جدول ۴- مقایسه بین روشهای مختلف در بدست آوردن ضرائب مورد کاربرد در تابع ویبول

نام شهر	نرم افزار مطلب		فرمول (۵)		فرمول (۶)	
	ضریب شکل	فاکتور مقیاس	ضریب شکل	فاکتور مقیاس	ضریب شکل	فاکتور مقیاس
فدشک	۱/۸۷	۷/۱۸	۱/۸۸	۶/۹۴	۱/۸۸	۵/۴۵

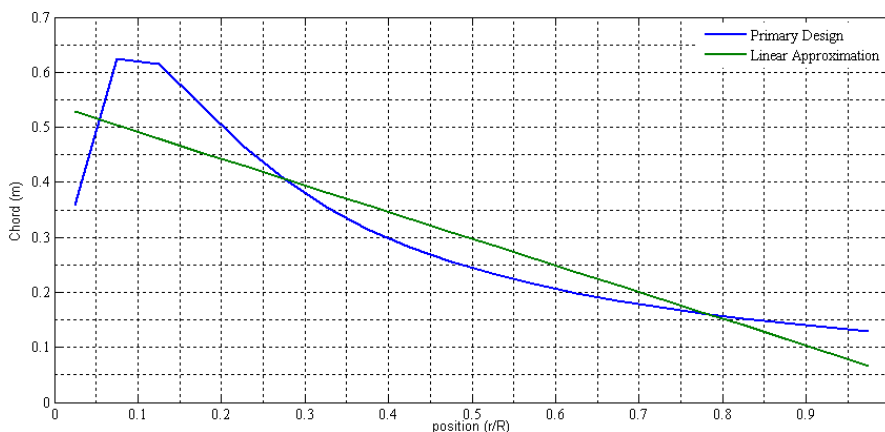


همانطور که در شکل (۶) مشاهده می شود ترسیم های ویبول با سرعت های اندازه گیری شده سازگاری خوبی دارند.

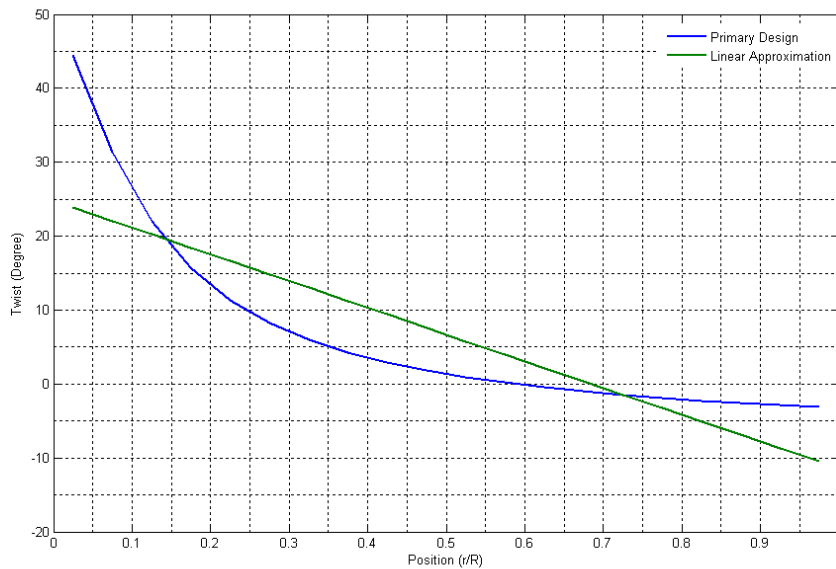
انتخاب  $\lambda$  مناسب اولین پارامتری است که باید در پروسه طراحی پره مورد نظر گرفت [۱۳، ۱۴]. ضریب  $\lambda$  در بسیاری از توربین های مدرن در محدوده  $6 \leq \lambda \leq 8$  قرار می گیرد. ولی انتخاب مناسب ضریب  $\lambda$  بسته به توان مورد نیاز از ایرفویل به ایرفویل دیگر تغییر می کند. در پروژه حاضر از ایرفویل S809 استفاده شده است. نمودار ضریب لیفت و دراگ بر حسب زاویه حمله برای ایرفویل فوق در شکل (۷) نشان داده شده است. طول وتر به ۲۰ قسمت مساوی تقسیم شده، ضریب  $\lambda = 7$  را برای محاسبات اولیه انتخاب و از طرفی با توجه به جدول (۱) تعداد پره ها را  $B = 3$  عدد انتخاب می کنیم. محاسبات اولیه برای تعیین ضریب  $c_i$ ،  $\theta_{p,i}$ ،  $\theta_{T,i}$  انجام شد. نتایج اولیه در شکل (۸) و (۹) رسم شده است. توان مورد نظر  $P = 10 \text{ kW}$  بوده و با توجه به بازده مکانیکی و الکتریکی ۸۰٪ و با استفاده از رابطه (۱۱) طول پره  $R = 4 \text{ m}$  خواهد شد.



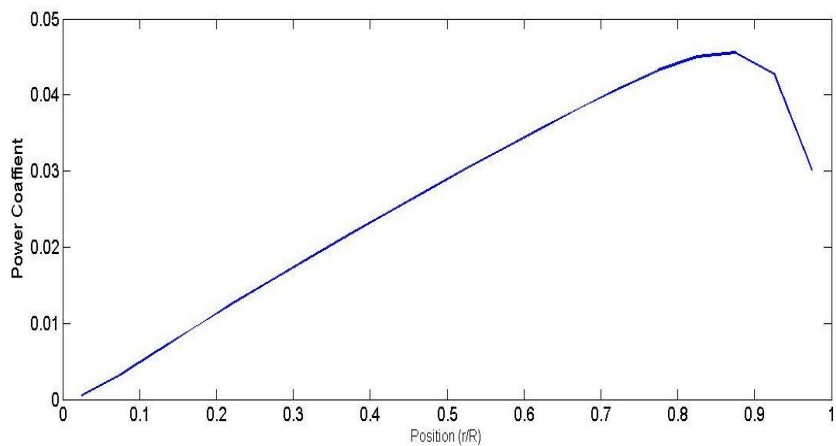
شکل ۷- طریقه برازش کردن توسط نرم افزار مطلب. (بین هر ۴ نقطه یک منحنی درجه ۳ ترسیم می شود)



شکل ۸- توزیع طول وتر در طراحی اولیه



شکل ۹- توزیع پیچش در طراحی اولیه



شکل (۱۰): ضریب توان در طول پره

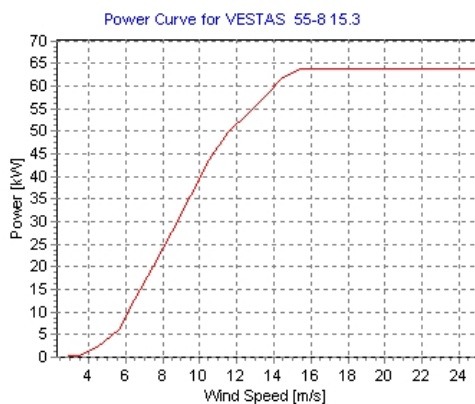
با توجه به شکل (۸) و (۹) مشاهده می‌شود که قسمت نزدیک‌تر به ریشه پره دارای طول وتر بیشتری بوده و با دور شدن از ریشه پره طول وتر کاهش خواهد یافت. این روند در زاویه پیچش هم مشاهده می‌شود. به عبارتی فواصل نزدیک به ریشه زاویه پیچش بیشتری نسبت به فواصل دورتر دارند. نمودار ضریب توان در طول پره در شکل (۱۰) ترسیم شده است. با توجه به شکل (۱۰) می‌توان دید که به طور نسبی بیشترین سهم تولید توان در محدوده ۳۰٪ تا ۹۰٪ طول پره قرار گرفته‌اند.

با انتخاب توربین باد Kuriant18 که توسط شرکت kuriant و Vestas55 که توسط شرکت Vestas ارائه شده- اند و با استفاده از منحنی عملکرد و توزیع ویبول برای ایستگاه، مقدار انرژی تولیدی سالیانه توسط این توربین باد بدست آمد و می‌تواند پیشنهادی برای نصب در آینده باشد [10]. مشخصات توربین‌های بادی انتخاب شده در پیوست الف می‌باشد

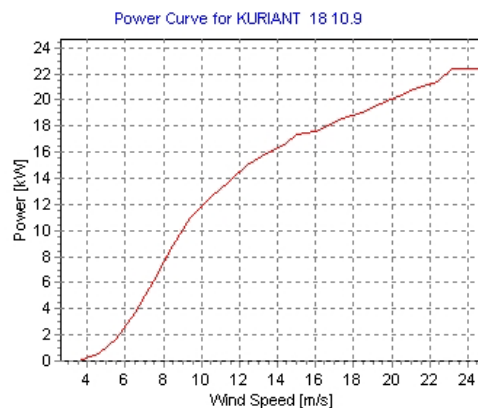
## ۶- نتیجه گیری

همان طور که قبلا اشاره شد رژیم جریان باد سایت فدشک از نظر اندازه سرعت و جهت مطلوب می باشد. چگالی توان متوسط سالیان در ایستگاه مذکور ۲۸۵ وات بر متر مربع می باشد. بر اساس سرشماری سال ۱۳۸۵ مرکز آمار ایران جمعیت آن بالغ بر ۱۰۳۳ نفر بوده است. لذا توان ۱۰kW برای این منطقه مناسب می باشد. همچنین توزیع ویبول برای سرعت در ارتفاع ۱۰ متری، ۳۰ متری و ۴۰ متری در ایستگاههای مورد نظر انجام شد. همچنین ماههایی از سال با بیشترین سرعت باد و بیشترین چگالی توان تعیین شدند. در ادامه طراحی پره برای این ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت.

## ۷- پیوست الف



شکل ۱۷- توربین Vestas55 انتخابی



شکل ۱۶- توربین Kuriant18 انتخابی

## مراجع

- [1] International Energy Agency (IEA), <http://www.iea.org/>
- [2] American Wind Energy Association (AWEA), <http://www.awea.org/>
- [3] Global Wind Energy Council (GWEC), <http://www.gwec.net/>
- [4] James F. Manwell, Jon G. McGowan, Anthony L. Rogers, Wind Energy Explained: Theory, Design and Application, John Wiley & Sons, p.11, 2002.
- [5] سازمان انرژی های نو ایران <http://www.sun.org.ir/>
- [6] World Wind Energy Association (WWEA), <http://www.wwindea.org/>
- [7] فاطمه رحیم زاده و زهره جهانگیری، " مکان یابی مناسب برای استفاده از انرژی باد در کشور"، سومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور، ۱۳۸۲.
- [8] امیر گندمکار، محمد رضا کاویانی و سید ابوالفضل مسعودیان، " بررسی انرژی باد در منطقه سیستان به منظور تولید برق بادی"، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)، جلد ۲۷، شماره ۶، صص ۹۵-۱۰۴، ۱۳۸۶-۱۳۸۲.
- [9] Mohammad Ameri, Mehdi Ghadiri and Mehdi Hosseini, "Recent Advances in the Implementation of Wind Energy in Iran", The 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2006), Bangkok, Thailand, November 2006.
- [10] Ali Mostafaeipour and Hossein Abarghoeei, "Harnessing wind energy at Manjil area located in north of Iran", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 12, No. 6, pp. 1758-1766, 2008.
- [11] Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins and Ervin Bossanyi, WIND ENERGY HANDBOOK, John Wiley & Sons, 2001.
- [12] Anastasios Balouktsis, Dimitrios Chassapis and Thodoris D. Karapantsios, "A nomogram method for estimating the energy produced by wind turbine generators", Solar Energy, Vol. 72, No.3, pp. 251-259, 2002.

- [13] N. S. Çertin, M. A. Yurdusev, R. Ata, and A. Özdemir, "Assessment of optimum tip speed ratio of wind turbines", *Mathematical and Computational Applications*, vol. 10, no. 1, pp. 147-154, 2005.
- [14] M. A. Yurdusev, R. Ata, and N. S. Çertin, "Assessment of optimum tip speed ratio in wind turbines using artificial neural networks", *Energy* no. 31, pp. 2153-2161, 2006.