مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٩) العدد (٤) ٢٠٢٥
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (9) No. (4) 2025

تحليل خصائص الرياح اعتماداً على توزيع ويبل من أجل تقدير الانتاج السنوي للعنفة الريحية(دراسة حالة مدينة طرطوس)

***م. نور أحمد عبشي**

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٤/١٠/١٥ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٥/٤/٢٨)

□ ملخّص □

تشغل اليوم الطاقة الكهربائية المتولدة بواسطة العنفات الريحية حيزاً كبيراً من مجمل الطاقة الكهربائية المولدة عالمياً، ونظراً لأهمية استخدامها في مجال الطاقة والبيئة تم في هذا البحث انجاز تحليل احصائي لسرعات الرياح في مدينة طرطوس باستخدام توزيع ويبل الاحصائي، والذي تم حساب معاملاته بطريقة الانحراف المعياري، واعتماداً على هذا التوزيع تم حساب الانتاج السنوي من الطاقة الكهربائية للعنفة Vestas V112 ذات الاستطاعة (3(MW في حال تركيبها في شروط سرعات رياح هذه المدينة. كما تم حساب الوفر الذي يتم تحقيقه في كمية الوقود اللازم لإنتاج المقدار نفسه من الطاقة الكهربائية، بالإضافة إلى حساب كمية غاز ثنائي أكسيد الكربون الموفرة، والناتجة عن احتراق هذه الكمية من الوقود.

الكلمات المفتاحية : عنفة ريحية ، سرعة الرياح ، توزيع ويبل ، طاقة الرياح

*حاصلة على شهادة الماجستير في اختصاص الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة–كلية الهندسة التقنية–جامعة طرطوس–سوريا

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٩) العدد (٤) ٢٠٢٥
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (9) No. (4) 2025

Wind characteristics analysis based on Weibull distribution to estimate annual wind turbine production (Tartous city case study)

Eng.Nour Ahmad Abshi*

(Received 15/10/2024 . Accepted 28/4/2025)

□ **ABSTRACT** □

Today, the electrical energy generated by wind turbines occupies a large part of the total electrical energy generated worldwide. Given the importance of its use in the field of energy and environment, this research has completed a statistical analysis of wind speeds in the city of Tartous using the Weibull statistical distribution, whose coefficients were calculated using the standard deviation method. Based on this distribution, the annual electrical energy production of the Vestas V112 turbine with a capacity of 3 (MW) was calculated if it was installed in the conditions of the wind speeds of this city. The savings achieved in the amount of fuel needed to produce the same amount of electrical energy were also calculated, in addition to calculating the savings in the amount of carbon dioxide resulting from the combustion of this amount of fuel.

Keywords: Wind turbine, wind speed, Weibull distribution, wind energy

***Master's degree in solar energy and renewable energies - Faculty of Technical Engineering - Tartous University - Syria**

1-مقدمة :

تم في العقود الأخيرة توظيف خيارات الطاقة المتجددة التي يمكن أن توجد وتطبق في أي مكان في العالم عند توفر الظروف المناسبة، والتي تعد السبيل الأكثر جدوى لتحقيق أمن مستدام في مجال الطاقة، ولمواجهة مشكلة تغير المناخ، والحفاظ على بيئة نظيفة. ومن أهمها طاقة الرياح التي تم استثمارها بواسطة العنفة الريحية وهي آلة تحول طاقة الرياح إلى طاقة كهربائية، والتي يتم نقلها إلى أماكن الاستهلاك. فوفقاً للتقارير كان عام 2023 أفضل عام على الإطلاق في مجال طاقة الرياح، فقد بلغت استطاعة منشآت طاقة الرياح الجديدة المركبة خلال هذا العام (GW)117 أي أكثر بنسبة 50% عما كانت عليه عام 2022 مما أدى إلى تجاوز الاستطاعة العالمية التراكمية لطاقة الرياح(TW)1 [4]. إن سرعة الرياح تتغير باستمرار مما يجعلنا نصف سلوك الرياح بالطرق الإحصائية، ومن أجل تمثيل احصائي مناسب لأنظمة الرياح تم استخدام توزعات وتوابع احصائية رياضية، و أهمها توزعات ويبل ورايلي وغاوص، ويعتبر توزيع تابع ويبل الأفضل استخداماً، والأكثر مرونة[6] ،حيث قام الباحث Khaled Alqdah وآخرون عام 2021 ببحث هدف إلى تقييم طاقة الرياح في مدينة(المدينة) في المملكة العربية السعودية باستخدام توزيع ويبل الاحتمالي لاعطاء رؤية حول انتاج الطاقة من عنفة الرياح المختارة Aventa AV-7 باستطاعة 6.2kW وقد أظهرت النتائج تراوح قيمة سرعة الرياح الوسطى كان بين (m/s) 2.426-3.737، وأن أكثر سرعة الرياح تكراراً هي 2.9m/s باحتمالية 30% و بلغ معدل عامل القياس (m/s)3.476 و معامل الشكل 2.923 كما وجدوا أن العنفة Aventa يمكن أن تولد(kWh/year) 8648 [2].

و في عام 2019 عمل كل من A. Gungor و M. Gokcek وأخرون على بحث تحققوا فيه من أربع طرق عددية مختلفة لحساب معاملات توزيع ويبل باستخدام بيانات سرعة الرياح في إزمير في تركيا، كما أجروا تحليل اقتصادي يوضح امكانية تركيب عنفات ريحية تتراوح استطاعتها بين (W)800-4200 في الموقع المدروس، حيث أشارت النتائج إلى أن طريقة الانحراف المعياري هي الطريقة الأكثر ملائمة في الموقع المدروس و كما تم حساب كلفة الكهرباء المولدة من العنفات الريحية والتي بلغت (US$/kWh)0.0111 .[5]

قام الباحث Faleh H. Mahmoud و Ali K. Resen من جامعة بغداد ومديرية الطاقة المتجددة في العراق عام 2019 بتحليل خصائص بيانات سرعة الرياح في موقع السلمان في العراق باستخدام توزيع ويبل، حيث تم استخدام طريقة الاحتمالية العظمى لإيجاد معاملات ويبل، والتي استخدموها لتحليل ارتفاعات مختلفة لأبراج العنفات الريحية، في النتيجة تم حساب عامل الشكل، وتراوحت قيمته بين 1.8-3.2، وعامل القياس الذي تراوح بين(m/s)5.93-8.3، ووجدوا أنه عند ارتفاع (m)50 تكون سرعة الرياح الوسطى (m/s)5.93 وكثافة طاقة الرياح(W/m^2)219. كما وضعوا نموذجاً لعنفة ريحية اعتماداً على عامل القدرة [7] .

2- مشكلة البحث :

إن محدودية مصادر الوقود الأحفوري، والنقص الحالي في عدد ساعات التغذية الكهربائية، بالإضافة لمشكلة تراكم غاز ثنائي أكسيد الكربون الناتج عن احتراق الوقود الأحفوري الذي يؤدي الى تغير المناخ والاحتباس الحراري. دفعت نحو الاتجاه والتوسع في استخدام مصادر الطاقات المتجددة في بلدنا، ومنها طاقة

الرياح ففي هذا البحث قمنا بحساب انتاج الطاقة الكهربائية للعنفة الريحية Vestas V112 والذي يوضح الدور الهام للعنفات الريحية في تغطية جزء من احتياجات الطاقة الكهربائية، والمساهمة في الحد من كميات غاز ثنائي الكربون المنبعثة.

3- أهمية البحث وأهدافه :

تأتي أهمية البحث انطلاقاً من الأهمية العالمية حالياً لاستثمار طاقة الرياح، باعتبارها أحد أرخص الطاقات البديلة والنظيفة. حيث يهدف البحث إلى حساب إنتاج العنفة Vestas V112 ذات الاستطاعة 3MW من الطاقة الكهربائية سنوياً، ومقدار ما يحققه استخدامها من وفر سنوي في كمية الوقود وفي كمية غاز ثنائي أكسيد الكربون الناتج عن احتراقها .

4- طرائق البحث ومواده:

4-1- توزيع ويبل الإحصائي(Statistical Weibull Distribution):

في هذا البحث تم استخدام تابع ويبل الإحصائي من أجل الحصول على نسبة هبوب سرعات الرياح خلال العام الواحد وبالتالي عدد ساعات هبوب كل من هذه السرع خلال العام، ولذا يجب التعريف بعدد من المفاهيم الإحصائية الأساسية وأهمها معدل أو متوسط سرعة الرياح والذي يعتبر من أهم خصائص الرياح، فإذا كان لدينا مجموعة من القراءات n التي تمثل سرعات الرياح فإن معدل السرعة يعطى بالمعادلة:

$$V_m = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Vi \qquad (1)$$

V_i : سرعة الرياح عند القراءة i (m/s)

V_m : معدل سرعة الرياح (m/s)

إلى جانب معدل السرعة مفهوم احصائي آخر وهو الانحراف المعياري، والذي يعبر عن عدم تناسق السرعات ضمن مجموعة البيانات ويبين انحراف السرعات الفردية عن القيمة الوسطى و يعطى بالعلاقة:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (Vi - Vm)^2}{n}} \qquad (2)$$

من أجل استخدام توزيع ويبل يتطلب ذلك الحصول على بيانات سرعة الرياح لعدة سنوات عندها يمكن تمثيل التوزيع التكراري على شكل رسم بياني، وهو يحتاج لتحديد معاملين اثنين، والذي هما معامل الشكل K وهو عامل لا بعدي يشير إلى استقرارية الرياح، ومعامل القياس C وواحدته هي واحدة قياس السرعة ويشير إلى خصائص توزع الرياح وزيادة قيمته تشير إلى زيادة سرعة الرياح، و يعبر عن توزيع تابع ويبل بتابعين[8] :

1- تابع احتمال الكثافة f(v) : يعبر عن احتمالية أو تكرار احتمال هبوب الرياح عند السرعة v و يعبر رياضياً عنه ب :

$$f(v) = \frac{k}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}} \qquad (3)$$

2- تابع التوزيع التراكمي F(v) : يعبر عن احتمالية حدوث سرعة الرياح مساوية و أقل من v و يعبر عنه بتكامل تابع الكثافة الاحتمالي :

$$F(v) = \int_0^{\infty} f(v)dv \qquad (4)$$

يوجد عدة طرق لتحديد عامل الشكل وعامل القياس التابعة لتوزيع ويبل وهي الطريقة البيانية، وطريقة الانحراف المعياري، وطريقة الاحتمالية العظمى، و طريقة عامل نمط الطاقة، والطريقة اللحظية. في دراستنا سنستخدم طريقة الانحراف المعياري والتي يتحدد فيها عوامل ويبل من السرعة الوسطى والانحراف المعياري لبيانات سرعة الرياح حيث يعطى كل من العامل K والعامل C بالعلاقات التالية[8] :

$$K = \left(\frac{\sigma}{Vm}\right)^{-1.090} \qquad (5)$$

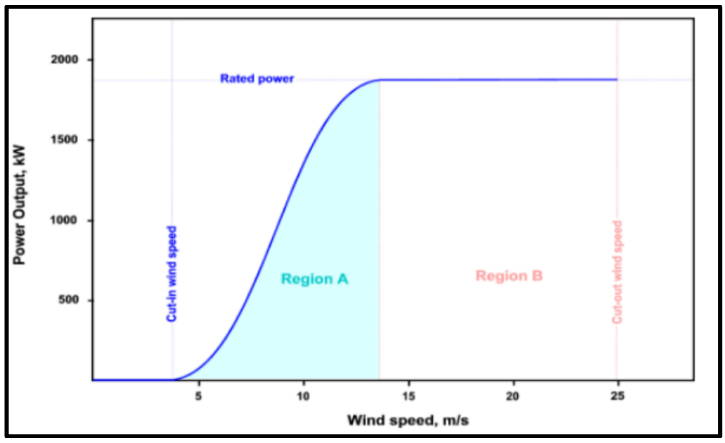
$$C = \frac{Vm.k^{2.6674}}{0.184+0.816k^{2.73855}} \qquad (6)$$

4-2-منحني قدرة العنفة الريحية الصغيرة:

إن إنتاج العنفة الريحية يتباين مع تغير سرعة الرياح، ولذلك فإن أداء العنفة الريحية يوصف باستخدام منحني القدرة أو منحني الإستطاعة(wind turbine curve) الذي يصور العلاقة بين سرعة الرياح والطاقة الناتجة عن العنفة، وهو يساعد في تقدير الطاقة الناتجة وتقييم أداء العنفة[9]، ويوضح الشكل (1) الشكل العام لهذا المنحني.

لمنحني القدرات مميزات هامة و هي :

- ❖ الاستطاعة الاسمية (Rated power): أعظم طاقة خرج ممكنة تبلغها العنفة عند السرعة المقدرة.
- ❖ سرعة الإقلاع (Cut in speed): هي سرعة الرياح التي تبدأ عندها العنفة الريحية بإنتاج الطاقة.
- ❖ السرعة الاسمية (rated speed): أقل سرعة للرياح يمكن للعنفة الريحية عندها انتاج الاستطاعة المقدرة.
- ❖ سرعة التوقف (cut out speed): السرعة التي تتوقف العنفة عندها عن العمل لأسباب تتعلق بأمان و حماية العنفة[3].



الشكل(1): الشكل العام لمنحني القدرة للعنفة الريحية

3-4- انتاج الطاقة السنوي للعنفة:

انتاج الطاقة السنوي للعنفة هو مقدار الطاقة الكهربائية التي تنتجها العنفة خلال عام واحد، ولحساب انتاج الطاقة السنوي للعنفة الريحية في موقع محدد نستخدم طريقة منحني القدرة. تعطي هذه الطريقة النتائج الأكثر واقعية حيث يعطى بمعادلة قانون الطاقة :

$$AEP = T\int_{Vci}^{Vco} P(V)f(V)dV \qquad (7)$$

AEP : انتاج العنفة الريحية السنوي (Wh)

T : عدد ساعات السنة و المساوية 8760 ساعة(h)

$P(V)$: استطاعة العنفة عند السرعة V (W)

V_{CI} : سرعة الدخول للعنفة (m/s)

V_{CO} : سرعة التوقف للعنفة (m/s)

$f(V)$: التوزيع التكراري للسرعة V

وعند توفر التوزيع التكراري لسرعة الرياح في الموقع فإنه يمكن الحصول على انتاج الطاقة السنوي للعنفة بالعلاقة :

$$AEP = \sum_{i=Vci}^{i=Vco} P(Vi) * f(Vi) * T \qquad (8)$$

أي يؤل انتاج الطاقة السنوي للعنفة إلى مجموع حاصل ضرب القدرة الناتجة عن العنفة عند كل سرعة رياح مع عدد ساعات هبوب هذه السرعة خلال العام[3].

5-النتائج والمناقشة:

5-1-توزيع ويبل الإحصائي لمدينة طرطوس:

يعطي الجدول(1) المعدل الشهري لسرعات الرياح لكل من الأعوام(2019-2020-2021-2022-2023)المعطاة من قبل محطة الأرصاد الجوية في محافظة طرطوس التي تبعد [m]150 عن الشاطئ، والتي تأخذ قراءاتها على ارتفاع [m]14 .

الجدول(1): المعدلات الشهرية لسرعات الرياح للأعوام(2019-2020-2021-2022-2023) مقدرة ب m/s

الشهر	2019	2020	2021	2022	2023
كانون الثاني	11	10	9	8	9
شباط	9	12	8	6	8
آذار	7	9	9	11	7
نيسان	6	7	7	8	8
آيار	4	6	3	6	6
حزيران	3	5	3	3	3
تموز	4	3	2	5	2
آب	2	5	3	5	2
أيلول	3	5	3	7	5
تشرين الأول	12	6	1	7	5
تشرين الثاني	9	7	7	8	5
كانون الأول	11	8	12	7	11

من أجل معرفة توزع سرعات الرياح، وعدد ساعات الهبوب لكل سرعة رياح على مدار العام في المدينة استخدمنا تابع ويبل الإحصائي الأكثر واقعية ودقة، وهو يتطلب وجود قياسات لسرعة الرياح لمدة لا تقل عن عام لاعطاء نتائج دقيقة. تم حساب بارامترات تابع ويبل وقيمه اعتماداً على معدلات سرعات الرياح المبينة سابقاً في الجدول (1):

1- معدل سرعة الرياح للأعوام الخمسة : من المعادلة(1)

$$_{m}V = 6.38 \ (m/s)$$

2- الانحراف المعياري : من المعادلة (2)

$$\sigma_v = 2.86$$

3- عامل الشكل : من المعادلة (5)

$$k = 2.39$$

4- عامل القياس : من المعادلة (6)

$$c = 7.2 \ (m/s)$$

و بالاعتماد على تابع الكثافة الاحتمالي لتوزيع ويبل المعادلة (3) تم حساب قيم تابع ويبل لكل سرعة رياح، وبالتالي عدد ساعات هبوبها الممكنة خلال العام، والتي تعطى بحساب جداء قيمة تابع ويبل عند السرعة المطلوبة بعدد ساعات العام(h 8760)، وهي ضرورية لحساب الانتاج السنوي للعنفة الريحية من الطاقة

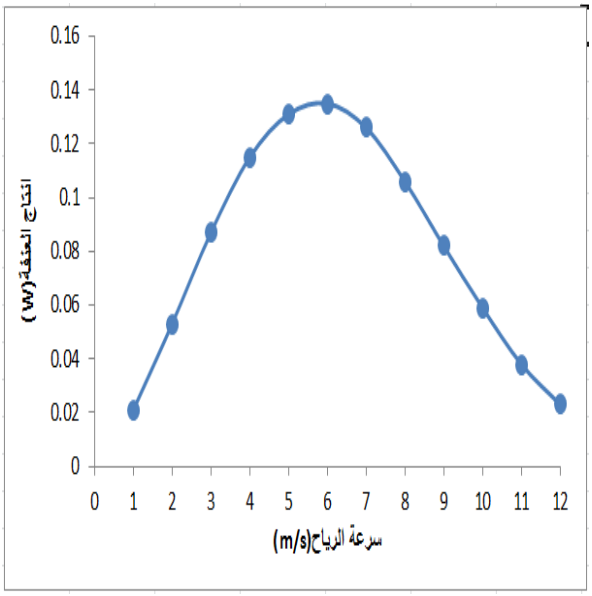
الكهربائية، ويبين الشكل(2) التمثيل البياني لتوزع سرعات الرياح حسب توزيع ويبل الاحصائي، كما يظهر الجدول (2) قيمة تابع ويبل لكل سرعة رياح وعدد ساعات هبوبها خلال العام.

الجدول(2): قيمة تابع ويبل لكل سرعة رياح و عدد ساعات هبوبها خلال العام

السرعة Vi (m/s)	تابع ويبل للسرعة F(Vi) Vi	عدد ساعات الهبوب خلال السنة (hour)
1	0.021	183.96
2	0.053	464.28
3	0.087	762.12
4	0.115	1007.4
5	0.131	1147.56
6	0.135	1182.6
7	0.126	1103.76
8	0.106	928.56
9	0.082	718.32
10	0.059	516.84
11	0.038	332.88
12	0.023	201.48

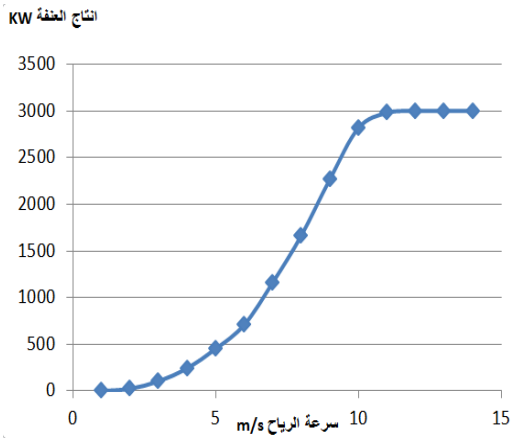
2-5-الانتاج السنوي للعنفة:

قمنا باختيار العنفةV112 Vestas ذات الأستطاعة الأعظمية 3MW وذات منحني القدرة المعبر عنه في كل من الشكل(3) والجدول(3)[10].



سرعة الرياح(m/s)	انتاج العنفة (kW)
1	0
2	24
3	104
4	244
5	451
6	709
7	1162
8	1666
9	2269
10	2817
11	2980
12	3000

الجدول(3): انتاج العنفة Vestas V112 من الطاقة الكهربائية المقابل لكل سرعة رياح



الشكل(3): منحني القدرة للعنفة Vestas

من المعادلة(8) بعد حساب عدد ساعات الهبوب لكل سرعة للرياح خلال عام واحد وبالاعتماد على منحني الطاقة للعنفة نحسب انتاج الطاقة السنوي للعنفة و مع إهمال السرعات الأقل من سرعة اقلاع العنفةV_{ci}=2m/s و حتى سرعة الرياح V_{co}=12m/s:

$$AEP = \sum_{i=Vci}^{i=Vco} P(Vi) * f(Vi) * T$$

AEP : انتاج العنفة الريحية السنوي (kWh)

T : عدد ساعات السنة و المساوية 8760 ساعة(h)

$P(Vi)$: استطاعة العنفة عند السرعة Vi (kW)

V_{CI} : سرعة اقلاع للعنفة $2(m/s)$

V_{CO} : سرعة التوقف أوالكبح للعنفة $12(m/s)$

$f(Vi)$: قيمة توزيع ويبل عند السرعة Vi(m/s)

$$AEP = \sum_{i=12}^{i=2} P(Vi) * f(Vi) * 8760$$

$$AEP = 9204001(kWh/year)$$

5-3- الوفر في استهلاك الوقود:

الاستهلاك الموفر سنوياً من الوقود الأحفوري = معدل استهلاك الوقود x انتاج العنفة السنوي

consumption = 9204001 x 223 =2052 [ton/year]

معدل استهلاك الوقود : 223 [g/kWh]

كمية انبعاثات غاز ثنائي أكسيد الكربون الموفرة سنوياً :

كمية الانبعاثات = استهلاك الوقودxالقيمة الحرارية الصافيةx معامل انبعاث الكربونx معامل أكسدة الكربونx $\frac{44}{12}$

مع الأخذ بالاعتبار القيم التالية الثابتة[11]:

القيمة الحرارية الصافية للوقود : 0.04731 [TJ/ton]

معامل انبعاث الكربون : 15.3 [ton Carbon/TJ]

معامل أكسدة الكربون : 0.995

$$Eco_2 = 2052 \times 0.04731 \times 15.3 \times 0.995 \times \frac{44}{12} = 5418[ton_{CO2}/year]$$

6- الاستنتاجات والتوصيات:

6-1- الاستنتاجات:

1- أظهرت النتائج أن السرعة الوسطى للرياح في مدينة طرطوس للأعوام الخمسة الأخيرة تقدر ب 6.38(m/s) بناءً على بيانات سرعة الرياح المقدمة من المحطة الأرصادية في المدينة والتي تعتبر قيمة جيدة ويمكن الاعتماد عليها في مشاريع طاقة الرياح.

2- أعطى توزيع ويبل عدد ساعات الهبوب لكل قيمة للسرعات بين (1-12)m/s، وكانت السرعة6m/s الأكثر تكراراً حيث بلغت نسبتها 13.5% .

3- بلغ الانتاج السنوي للعنفة الريحية المستخدمة (AEP= 9204001(kWh/year والتي بتوليدها عن طريق العنفة الريحية يتحقق وفر سنوي في كمية الوقود اللازمة في حال استخدام طرق التوليد التي تعتمد على الوقود الأحفوري بمقدار[ton/year] 2052 وبالتالي يتحقق وفر في انبعاثات غاز ثنائي أكسيد الكربون الناتجة عن كمية الوقود الموفرة بمقدار[ton_{CO2}/year]5418.

6-2- التوصيات:

1- دراسة مواقع أخرى خاصة تلك التي تتمتع بسرعات رياح عالية والمناسبة لمشاريع طاقة الرياح ، والقيام بتحليل احصائي مناسب لسرعات الرياح فيها.

2- دراسة استخدام أنواع أخرى من العنفات ذات استطاعات وأنواع مختلفة، وحساب انتاجها وجدوى استخدامها.

المراجع:

المراجع الأجنبية:

[1]ALANAZI, Mutaz A., et al. ***Wind energy assessment using Weibull distribution with different numerical estimation methods: a case study***. Emerging Science Journal, 2023, 7.6: 2260-2278.

[2]ALQDAH, Khaled S., et al. ***Potential of wind energy in Medina, Saudi Arabia based on Weibull distribution parameters***. Wind Engineering, 2021, 45.6: 1652-1661.

[3]GEBRELIBANOS, Kalekirstos Gebremariam**. *Feasibility Study of Small Scale Standalone Wind Turbine for Urban Area: Case Study***: KTH Main Campus. 2013.

[4] Global Wind Energy Council,***Global Wind Report***,2024.

[5]GUNGOR, AFŞİN, et al**. *Analysis of wind energy potential and Weibull parameter estimation methods: a case study from Turkey***. International Journal of Environmental Science and Technology, 2020, 17.2: 1011-1020.

JOHNSON, Gary L. ***Wind energy systems***. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, [6]1985.

[7]MAHMOOD, Faleh H.; RESEN, Ali K.; KHAMEES, Ahmed B. ***Wind characteristic analysis based on Weibull distribution of Al-Salman site, Iraq***. Energy reports, 2020, 6: 79-87.

[8]QAWASMI, Abeer; KIWAN, Suhil**. *Effect Weibull distribution parameters calculating methods on energy output of a wind turbine: a study case***. Int. J. Therm. Environ. Eng., 2017, 14.2: 163-173.

[9]SOHONI, Vaishali; GUPTA, S. C.; NEMA, Rajesh K. ***A critical review on wind turbine power curve modelling techniques and their applications in wind based energy systems***. Journal of Energy, 2016, 2016.1: 8519785.

STAFFELL, Iain. ***Wind turbine power curves***. Imperial College London, 2012, [10]2.

المراجع العربية:

[11] العبود. نايف، ***الطاقة البديلة و حماية البيئة***(2015)، جامعة البعث