

## استخدام أسلوب إدارة الطاقة لتغذية حمولة من نظام توليد مختلط

الدكتور مسعود صبيح\*

سهام عساف\*\*

(تاريخ الإيداع 10 / 9 / 2012. قُبل للنشر في 7 / 5 / 2013)

### ▽ ملخص ▽

تعالج هذه المقالة طريقة تغذية الحمولة اليومي على مدار العام باستخدام أسلوب إدارة الطاقة من قبل عدة مصادر لتوليد الطاقة الكهربائية، تمثلت بمولدات العنفات الريحية ومدّخرات تعمل على تخزين القدرة الكهربائية التي تزيد عن قدرة الأحمال ليعاد استخدامها في فترات العجز أو أوقات الذروة للأحمال، وأيضاً بمشاركة وحدات توليد الديزل. تم إجراء الدراسة في قرية الناصرة الواقعة إلى الجنوب الشرقي من مدينة صافيتا وبمسافة تبلغ [15 km]. إن تغذية الحمولة المطلوبة تمت من خلال عدة حالات مقترحة لنسب مشاركة كل من مصادر توليد الطاقة المستخدمة، يتم التحكم بتوصيل مصادر الطاقة إلى الحمولة عبر دارة قيادة الطاقة يتم تغذيتها بالبيانات الخاصة لكل مصدر من المصادر، وإن اختيار مصدر الطاقة المناسب يتم باستخدام معالجات دقيقة تغذى أنيا من بنك المعلومات الذي يحدد مصادر التوليد المتاحة والممكن استرجار الطاقة منها وأفضلية توصيلها للحمولة تبعاً لكلفة إنتاج واحدة القدرة. إن العمل بهذه القاعدة ومن خلال نتائج البحث تبين أن ترتيب مصادر توليد الطاقة كأفضلية تغذية الحمولة يبدأ بالعنفات الريحية ثم المدّخرات وأخيراً وحدات الديزل. إن أفضل حالة لتغذية الحمولة تمثلت بنسبة مساهمة 75% للعنفات الريحية ونسبة مشاركة 25% للمدّخرات، كلفة إنتاج واحدة القدرة لهذه الحالة تتخفف بمقدار 43% بالمقارنة مع حالة استخدام وحدات الديزل عند النسبة نفسها.

**الكلمات المفتاحية:** العنفات الريحية، تخزين المدّخرات، وحدات توليد الديزل، طاقة متجددة.

\* أستاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\* مشرفة على الأعمال - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Using Energy Management Method for Load Supply from Hybrid Power Generation System

Dr. Massoud Sabyh\*  
Siham Assaf\*\*

(Received 10 / 9 / 2012. Accepted 7 / 5 / 2013)

### ▽ ABSTRACT ▽

In This paper we discuss the method of year-round daily load supply by employing the method of energy management through multiple sources for electrical power generation, like wind turbine generators and batteries which accumulate the electrical energy that exceeds the load capacity to be reused during loads' shortage or peak load periods which is also done by the contribution of diesel power generation units. The study work was launched in Al- Nasra village, at 15 kms south-east of Safita city. The supply of the required load was performed through several proposed states of incorporation rates for each one of the employed energy sources. Connection of energy sources to the load is the load is controlled through the energy drive cycle which is fed with data related to each specific source. The process of selecting suitable energy source is affected via employing microprocessors, which are simultaneously fed from a data bank which defines the available generating sources which are ready to supply energy beside their priority of connecting the load according to the production cost per unit energy. Using of the rule and results of research are shown arrangement sources of power generation as priority supply of loads are first wind turbine, then batteries and finally diesel units. The best of the case for supply of load represented contribution rate 75% of wind turbine and participation rate 25% of batteries, for this case, the cost of KWh decreased 43% for comparison of using diesel units at same rate.

**Key Words:** Wind turbine generators, Batteries storage, Diesel generation units, Renewable energy.

---

\*Professor, Department of Electrical Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*Work Supervisor, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

إن التزايد السريع للتلوث مع ارتفاع معدل التوقعات الدالة على زيادة استهلاك الاحتياطي من الوقود الاحفوري، يعطي إشارة خطر لنضوب البترول. في الوقت الحاضر، وبحسب القدرة المتاحة وأيضاً بما تتطلبه مؤشرات الجودة وبما هو مطلوب من مستوى اقتصادي للمجتمعات، نجد أن إمكانية الوصول إلى ذلك في تناقص مستمر، وبالتالي النقص الشديد في مصادر الطاقة التقليدية والاستثمار أو الاستغلال المشوش أو المضطرب للمصادر الطبيعية يعطي نتائج بمعدلات عالية للقط والجوع لأجزاء عديدة من العالم. استغلال الطاقة المتجددة عموماً ومنها طاقة الرياح وخاصة في المساحات المقفرة أو البعيدة عن المدن وذات معدلات سرعة رياح اقتصادية يقود إلى نزوح السكان من المدن المزدحمة، هذا يساعد من التخفيف من الازدحام ومن الأضرار الاجتماعية والاقتصادية وتوزع متجانس للكثافة السكانية. توفر طاقة الرياح إمكانية واسعة لتوليد قدرات كبيرة من الطاقة الكهربائية من دون مشاكل التلوث التي تحدثها مصادر الطاقة التقليدية. فحجم تطوير هذا المصدر المتجدد يعتمد على الاختيار الأفضل للعنفة الريحية أو التوربين الهوائي وموقعه. وصلت تكنولوجيا تصنيع طواحين الهواء في ثمانينات القرن الماضي إلى درجة عالية من التكنولوجيا، في الوقت الحاضر تقوم عشرات الشركات بتصنيع منظومات توليد طاقة كهربائية من العنفات الريحية بكفاءة ممتازة وأسعار مناسبة. إن استخدام طاقة الرياح من بين الطاقات البديلة تعتبر الأسرع نمواً حيث يتم تحويل طاقة الرياح بواسطة توربينات عملاقة. في ألمانيا مثلاً نحو 16000 توربين هوائي، وطاقة الرياح هي الأقرب إلى التكافؤ مع أسعار الطاقة التقليدية. أجريت الدراسة في قرية الناصرة الواقعة إلى الجنوب الشرقي من مدينة صافيتا وبمسافة تبلغ 15 [km]، إجراء المفاضلة لمختلف الحالات المفترضة من حيث الموثوقية والتحليل الاقتصادي، إعداد البرامج الحاسوبية اللازمة للوقوف عند درجة الموثوقية والكلفة الاقتصادية للحالات المفترضة كلها واختيار الحل الأمثل لتغذية الحمولة.

**أهمية البحث وأهدافه:**

إن استخدام أسلوب إدارة الطاقة (Energy Management) لتغذية الأحمال الكهربائية المطلوبة من عدة مصادر ذات طبيعة مختلفة، مصادر طاقة متجددة ومصادر طاقة تقليدية كما هو حال هذا البحث يعد إحدى طرق إيجاد الحل الأمثل (Optimal solution) لتشغيل منظومات القدرة الكهربائية. الغاية والهدف من استخدام تقنية إدارة الطاقة تحديد مصدر تغذية من بين مجموعة مصادر تغذية متاحة لتغذية الحمولة المطلوبة عند أقل كلفة ممكنة. تطبيق أسلوب إدارة الطاقة والذي يعد من أهم الأساليب الحديثة لاقتصاديات الطاقة على منظومات القدرة الكهربائية يتم من خلال عدة طرق، هناك طريقة البرمجة الخطية (Linear programming)، وأيضاً من خلال استخدام المنطق الضبابي (Fuzzy logic) أو أساليب أخرى كالطريقة المتبعة في هذا البحث.

يهدف هذا البحث إلى تحديد اقتصادية عدة بدائل لمصادر توليد الطاقة الكهربائية، وأيضاً تحديد الحل الأمثل لتغذية الحمولة من أجل مختلف نسب مشاركة كل منها بما يحقق الكلفة الأصغر. إن المجموعات المقترحة لتغذية الحمولة تتمثل بالمجموعات التالية:

- مولدات عنفات ريحية مع المدّخرات.
- مولدات عنفات ريحية مع وحدات الديزل.
- مولدات عنفات ريحية مع المدّخرات ووحدات الديزل.

### طرائق البحث ومواده:

يبدأ البحث بالتعرف على البيانات الخاصة بسرعة الرياح على مدار الساعة وكقيم متوسطة شهرية على مدار العام للموقع المقترح لإجراء هذه الدراسة، ستجرى الدراسة على عدة أنواع من العنفات الريحية كمصدر طاقة متجددة، وسيضاف إليها المدّخرات ليتم شحنها في أوقات وجود فائض للقدرة ثم إجراء التفريغ خلال أوقات العجز أو الذروة، وأيضاً إضافة وحدات توليد الديزل كمصدر طاقة احتياطي لزيادة الموثوقية في تغذية الحمولة المطلوبة.

إن المجموعات المقترحة لتغذية الحمولة يمكن ترتيبها كما يلي:

\* عنفات ريحية بنسبة مساهمة 75% و مدّخرات بنسبة مشاركة 25% .

\* عنفات ريحية بنسبة مساهمة 50% ومدّخرات بنسبة مشاركة 50% .

\* عنفات ريحية بنسبة مساهمة 75% ووحدات توليد ديزل بنسبة مشاركة 25% .

\* عنفات ريحية بنسبة مساهمة 50% ووحدات توليد ديزل بنسبة مشاركة 50% .

\* عنفات ريحية بنسبة مساهمة 50% ونسبة مشاركة للمدّخرات 25% ولوحدات توليد الديزل 25%.

\* عنفات ريحية بنسبة مساهمة 25% ونسبة مشاركة للمدّخرات 25% ولوحدات توليد الديزل 50%.

\* عنفات ريحية بنسبة مساهمة 100% وتحديد العدد حسب الحمولة المتوسطة.

\* عنفات ريحية بنسبة مساهمة 100% وتحديد العدد حسب حمولة الذروة.

اعتمد في هذا البحث طريقة النمذجة الرياضية والمحاكاة الحاسوبية، إعداد دارة القيادة التي تنظم آلية تغذية الحمولة عند أعلى درجات الموثوقية وأدنى مستويات التكلفة.

#### 4-المواصفات الميتورولوجية للموقع:

أجريت الدراسة على موقعي قرية الناصرة الواقعة إلى الجنوب الشرقي من مدينة صافيتا وبمسافة تبلغ [km] 15 والذي يمتاز بمعدلات سرعة رياح جيدة على مدار العام. متوسط سرعات الرياح للموقع المختار [m/Sec.] موضحة بالجدول (1):

الجدول (1):سرعات الرياح بقيم متوسطة للموقع المدروس.

الشهر	ك <sub>2</sub>	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت <sub>1</sub>	ت <sub>2</sub>	ك <sub>1</sub>
u[m/Sec.]	6.5	6.4	5.8	6.2	6.2	6.8	6.7	6.5	7.4	8.0	7.8	7.6

أجريت الدراسة على ثلاث عنفات ريحية بمواصفات فنية مختلفة من حيث استطاعة الخرج [KW] P، قطر المروحة [m]  $D=2r$ ، السرعة الأولية أو سرعة بداية التوليد (Cut-in Speed)  $u_c$ [m/Sec.]، السرعة الأعظمية أو سرعة خروج المروحة من العمل (Cut-out Speed)  $u_r$ [m/Sec.]، السرعة التصميمية  $u_r$ [m/Sec.]. بيانات هذه العنفات موضحة بالجدول (2):

الجدول(2):المواصفات الفنية للعتفات الريحية.

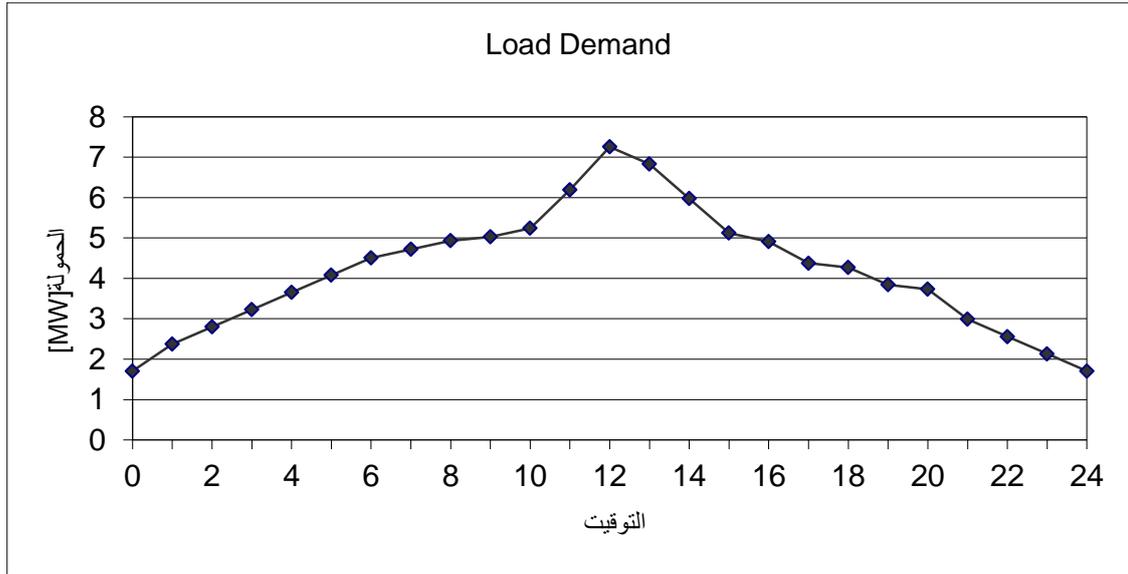
النوع	P[KW]	D[m]	$u_c$ [m/Sec.]	$u_r$ [m/Sec.]	$u_f$ [m/Sec.]
Mod-0A	200	38.1	4.22	9.96	17.7
Mod-1A	400	44.0	4.7	13.0	25.0
Mod-2A	900	84.0	4.96	10.0	21.8

الحمولة التي ستقوم محطات التوليد بتغذيتها تمثل حمولة منطقة صناعية مع عدة حمولات تمثل أحمال سكنية مجاورة ومكاتب للإدارة والخدمات ومطاعم، القيم المتوقعة لهذه الحمولات موضحة بالجدول(3)، تغيرات الحمولة الكلية على مدار الساعة معطاة بالشكل(1).

الجدول(3):تغيرات الحمولة للموقع موضوع الدراسة وتغيرات سرعة الرياح.

التوقيت [h]	حمولة سكنية [KW]	مكاتب [KW]	خدمات [KW]	مطاعم محلات [KW]	أحمال صناعية [MW]	حمولة كلية [MW]	سرعة رياح v[m/Sec.]
1	166.03	0	71.16	0	2.134	2.372	8.1
2	195.93	0	83.97	0	2.519	2.799	7.6
3	225.82	0	96.78	0	2.903	3.226	7.6
4	255.71	0	109.59	0	3.287	3.653	7.2
5	285.60	0	122.39	0	3.672	4.080	7.0
6	315.48	0	135.20	0	4.056	4.507	6.8
7	330.39	0	141.59	0	4.248	4.720	6.6
8	345.38	197.36	148.02	246.70	3.996	4.934	6.4
9	351.95	201.12	150.84	251.39	4.072	5.028	6.4
10	366.94	209.67	157.25	262.10	4.246	5.242	6.0
11	484.33	276.76	207.57	345.95	5.604	6.191	5.8
12	508.06	290.31	217.73	362.89	5.878	7.258	5.6
13	478.16	273.23	204.94	341.54	5.533	6.831	5.4
14	418.39	239.08	179.31	298.85	4.841	5.977	5.4
15	358.61	0	153.69	256.15	4.354	5.123	5.8
16	343.69	0	147.29	245.50	4.173	4.910	6.0
17	306.45	175.11	131.34	218.89	3.546	4.378	6.3
18	298.83	170.75	128.06	213.45	3.457	4.269	6.5
19	268.94	153.67	115.25	192.10	3.112	3.842	6.8
20	261.31	149.31	111.99	186.65	3.023	3.733	6.9

6.9	2.988	2.420	149.39	89.63	119.52	209.15	21
7.3	2.561	2.072	128.05	76.83	102.44	179.27	22
7.8	2.134	1.728	106.70	64.02	85.36	149.38	23
8.1	1.707	1.382	85.35	51.21	68.28	119.49	24
الحمولة الكلية [MWh/day] 102.477							



الشكل (1): تغيرات الاستطاعة للحمل اليومي.

### النتائج والمناقشة:

1- العلاقة بين السرعة التصميمية لمولدات طاقة الرياح ومتوسط سرعة الرياح: إن الاستطاعة المستخرجة من العنفات الريحية تعطى بالعلاقة [3]:

$$P_w = 0.5 \rho A v^3 \quad [W] \quad (1)$$

حيث:  $\rho$  [Kg/m<sup>3</sup>]: كثافة الهواء

$v$  [m/Sec.]: سرعة الرياح

$A$  [m<sup>2</sup>]: مساحة مقطع عرضي للمروحة

العلاقة بين السرعة التصميمية لمولدات طاقة الرياح  $u_r$  ومتوسط سرعة الرياح  $u_m$  يتم باستخدام طريقة الحد

الأدنى لمربع القيمة، إن الشكل العام لهذه المعادلة يعطى بالصيغة:

$$u_r = b_1 u_m + b_2 u_m^2 + b_3 u_m^3 \quad (2)$$

حيث:  $b_1, b_2, b_3$ : ثوابت

حسب قيم السرعة المتوسطة للرياح للموقع المدروس والقيم المقابلة للسرعة التصميمية الموافقة للمجالات التالية [4]:

$$u_m=4 \div 6[m/Sec.] \rightarrow u_r=u_m(1.5 \div 2)u_m$$

$$u_m=6 \div 10[m/Sec.] \rightarrow u_r=u_m(1 \div 1.5)u_m$$

باختيار القيم التالية لمتوسط سرعة الرياح واستنتاج القيم المقابلة لها، وبحسب المجالات السابقة:

$$u_m=5.0 \rightarrow u_r=8.1$$

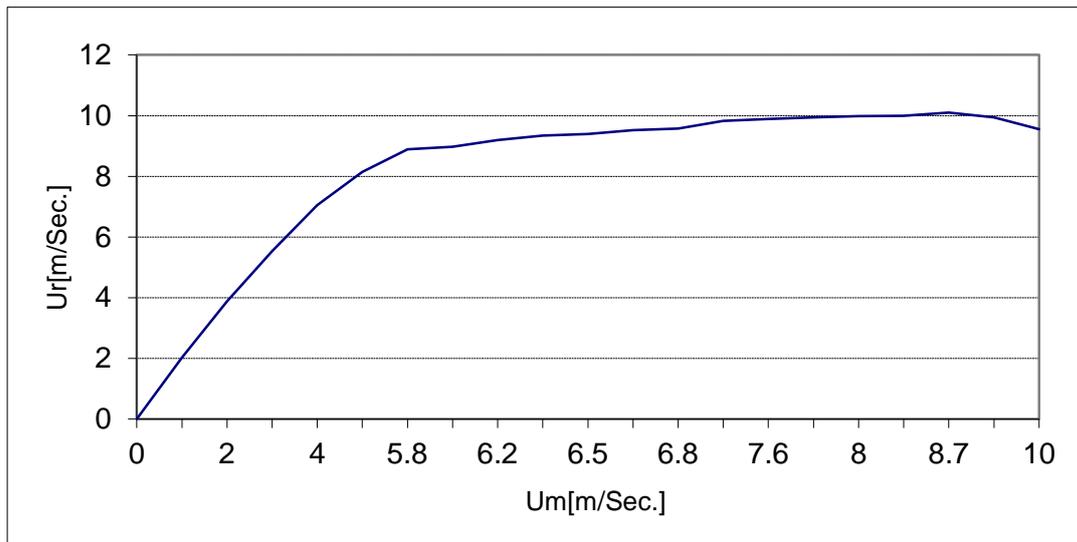
$$u_m=8.6 \rightarrow u_r=10.0$$

$$u_m=8.7 \rightarrow u_r=12.4$$

ويتشكل ثلاث معادلات من القيم السابقة وبحل جملة المعادلات يتم تحديد قيم الثوابت  $b_1, b_2, b_3$  حيث تصبح صيغة المعادلة:

$$u_r = 2.11510 u_m - 0.07829 u_m^2 - 0.00377 u_m^3 \quad (3)$$

التمثيل البياني الذي يعبر عن العلاقة السابقة موضح بالشكل (2).



الشكل (2): سرعة الرياح الوسطية المقابلة للسرعة التصميمية.

## 2- ارتفاع محور الدوران وعامل السعة للعنفات الريحية:

### العنفة الريحية Mod-0A:

من أجل مولدة العنفة الريحية Mod-0A وحسب قيمة السرعة التصميمية لهذه العنفة المذكورة بالجدول (2) والتي تعادل  $u_r=9.96[m/Sec.]$ ، يمكن إيجاد القيمة المقابلة لسرعة الرياح للموقع المدروس بحسب التمثيل البياني السابق والتي تعادل  $7.9[m/Sec.]$ ، إن ارتفاع محور الدوران عن سطح الأرض من أجل القيمة السابقة لسرعة الرياح المتوسطة يعطى بالعلاقة [5]:

$$(4) \frac{u_{22}}{u_{11}} = \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^{0.14}$$

حيث:  $u_{11}=6.8[m/Sec.]$ : قيمة متوسطة سنوية لسرعة الرياح للموقع المدروس.

$u_{22}=7.9[m/Sec.]$ : سرعة رياح للموقع المدروس المقابل للسرعة التصميمية لمولدة طاقة الرياح.  
 $Z_1=10[m]$ : ارتفاع مأخوذ عنده سرعات الرياح للموقع المدروس.  
 $Z_2=[m]$ : ارتفاع محور الدوران لمولدة طاقة الرياح المقابل للسرعة التصميمية.

$$\frac{7.9}{6.8} = \left(\frac{Z_2}{10}\right)^{0.14} \rightarrow Z_2 = 29.19[m]$$

يحسب عامل السعة من العلاقة [6]:

$$CF = \frac{EXP[-\left(\frac{u_c}{C}\right)^K] - EXP[-\left(\frac{u_f}{C}\right)^K]}{\left(\frac{u_f}{C}\right)^K - \left(\frac{u_c}{C}\right)^K} - EXP[-\left(\frac{u_f}{C}\right)^K] \quad (5)$$

حيث:  $C=1.12$   $u_m=8.84$ : عامل قياس

$K = 0.94 \sqrt{u_m} = 2.64$ : عامل الشكل

$$CF = \frac{EXP[-\left(\frac{4.22}{8.84}\right)^{2.64}] - EXP[-\left(\frac{9.96}{8.84}\right)^{2.64}]}{\left(\frac{9.96}{8.84}\right)^{2.64} - \left(\frac{4.22}{8.84}\right)^{2.64}} - EXP[-\left(\frac{17.7}{8.84}\right)^{2.64}] = 0.49$$

إن تغذية الحمولة المطلوبة يتم من خلال عدة نسب مختلفة لمساهمات مصادر توليد الطاقة، وذلك بغية التوصل إلى أفضل نسبة مساهمة وأفضل مجموعة، الحالات المدروسة هي:

1- العنفات الريحية بنسبة مساهمة 75% ومدخرات بنسبة مشاركة 25%:

● عدد العنفات الريحية:

عدد مولدات طاقة الرياح تعطى بالعلاقة [7]:

(6)

$$R_w * E_T = 8760 * CF * N_w * P_{1w}$$

$$N_w = \frac{R_w * E_T}{8760 * CF * P_{1w}}$$

حيث:

$R_w$  [%]: نسبة مساهمة العنفات الريحية.

$E_T$  [MWh]: قدرة كهربائية للأحمال،  $E_T=102.477$  [MWh/day] حسب الجدول (3).

$N_w$ : عدد العنفات الريحية.

$P_{1w}$  [KW]: استطاعة العنفة الريحية الواحدة المستخدمة.

$$0.75 * 102.477 \left[\frac{MWh}{day}\right] * 10^3 * 365 \left[\frac{day}{Y}\right] = 8760 * 0.49 * N_w * 200 [KW]$$

$$N_w=33[units]$$

استطاعة الخرج العنفات الريحية كلها:

$$P_W = 33 * 200 [Kw] = 6.6 [MW]$$

● عدد المَدَّخَرَات:

القدرة المطلوبة تغذيتها من المَدَّخَرَات:

$$E_B = R_B * E_T \quad (7)$$

حيث:  $R_B$ : نسبة مشاركة المَدَّخَرَات لتغذية الحمولة.

$$E_B = 0.25 * 102477 \left[ \frac{KWh}{day} \right] = 25619 \left[ \frac{KWh}{day} \right]$$

النوع المقترح للمَدَّخَرَة بتوتر 12[V] وسعة 615[Ah]، القدرة الكامنة لكل مَدَّخَرَة:

$$615 * 12 = 7380 [Wh]$$

بأخذ نسبة تفريغ 80% تكون القدرة الممكن استخدامها من كل مَدَّخَرَة:

$$0.80 * 7380 = 5904 [Wh]$$

القدرة الكامنة في المَدَّخَرَات بما يتفق مع عمق التفريغ:

$$0.20 * 7380 = 1476 [Wh]$$

عدد المَدَّخَرَات اللازم:

$$N_B = \frac{25619 [KWh/day]}{5.904 [KWh]} = 4340 [Batteries]$$

قدرة كامل المَدَّخَرَات عند الشحن التام:

$$W_{thc} = 7380 [Wh] * 4340 = 32029 [KWh]$$

قدرة كامل المَدَّخَرَات عند تفريغ 80% من قدرتها:

$$W_{thd} = 1476 [Wh] * 4340 = 6405 [KWh]$$

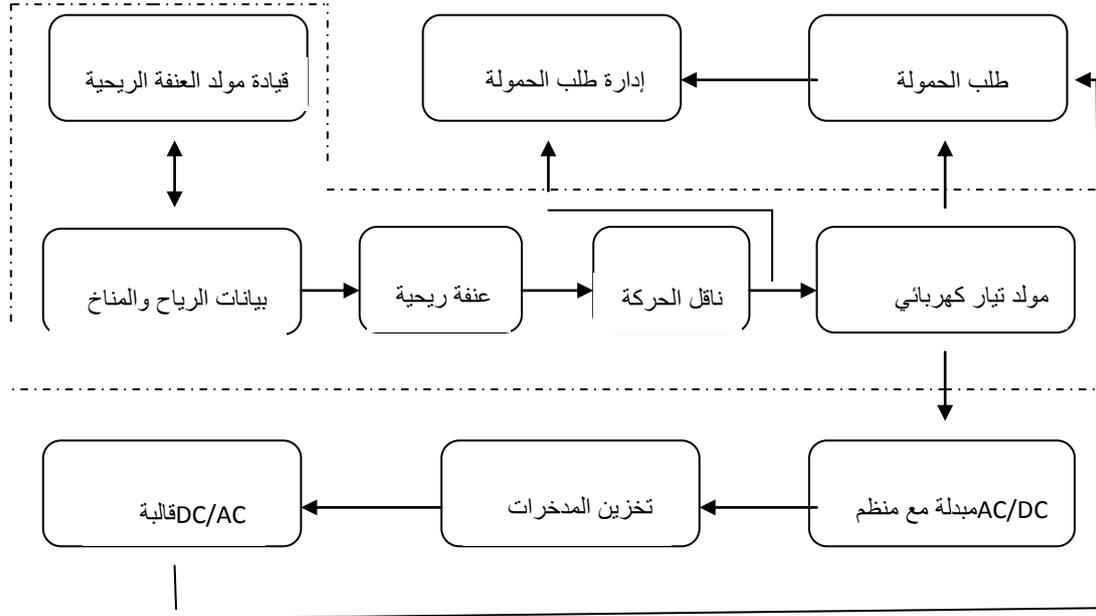
القدرة الكامنة المتاحة من كامل المَدَّخَرَات:

$$E_{TB} = W_{thc} - W_{thd} = 32029 - 6405 = 25623 [KWh] \quad (8)$$

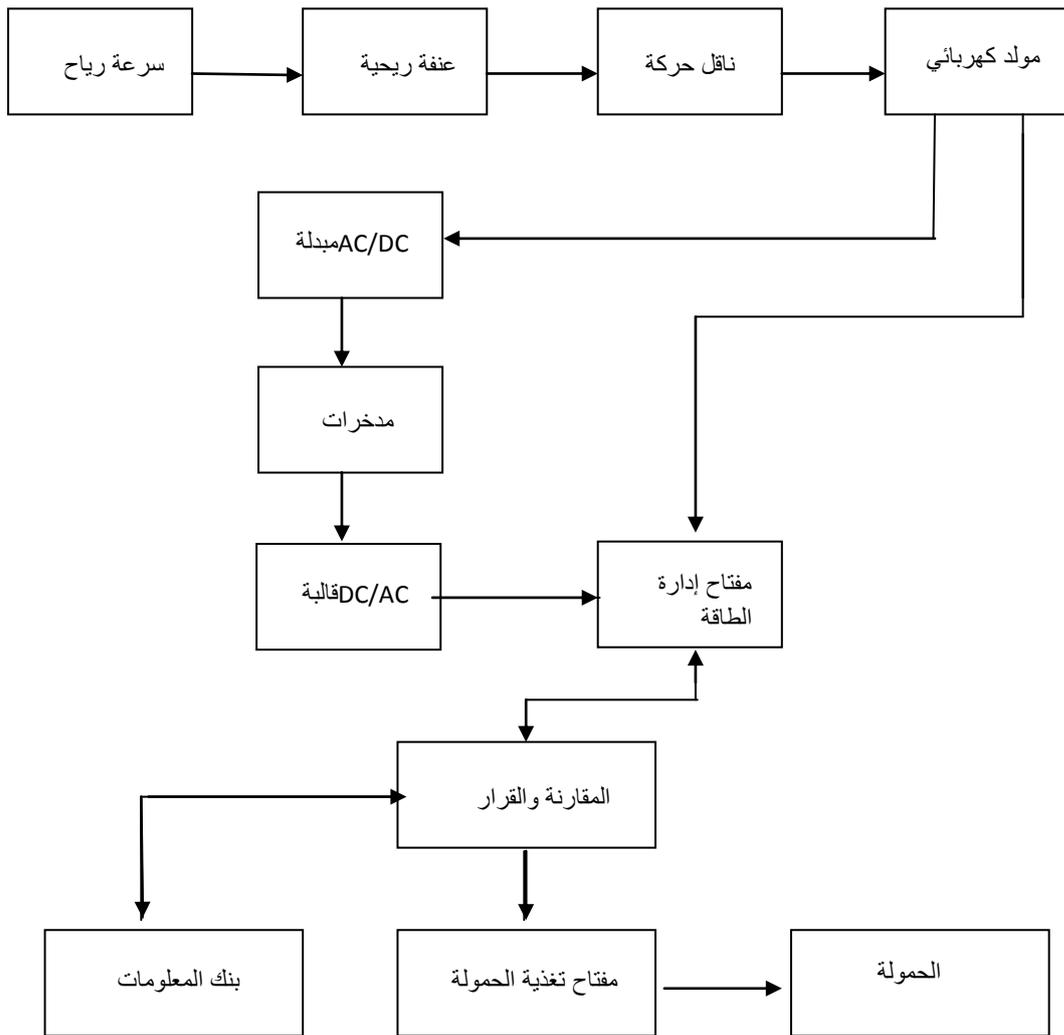
إن التمثيل البياني لتغيرات الحمولة تم من خلال تحديد تغيراتها بما يتفق مع تغيرات الحمولة الساعية على مدار الفترة الزمنية المدروسة، منحني الحمولة يمثل تغيرات الحمولة عند كل ساعة بما يتفق مع قيم الحمولة الكلية حسب الجدول (3). منحني خرج مولدات طاقة الرياح جاء بحسب تغيرات سرعة الرياح بحسب بيانات الأرصاد الجوية كقيم ساعية على مدار الوقت، القيم المتوسطة موضحة بالجدول (3). منحني خرج المَدَّخَرَات جاء بحسب استطاعة الخرج للعنفات الريحية وقيمة الحمولة، عند وجود فائض يتم شحن المَدَّخَرَات وعند وجود عجز يتم تفريغ المَدَّخَرَات لتغطية

كامل الحمولة. منحني خرج وحدات الديزل يعكس استخدام هذه الوحدات كمصدر احتياطي لتغطية العجز في تغذية الحمولة المطلوبة بحسب الحالات المدروسة.

المخطط الصندوقي لعمل المنظومة كمولدة عنفة ريحية ومدّخرات موضحة بالشكل(3)، دارة القيادة لعمل العنفة الريحية والمدّخرات موضحة بالشكل(4).

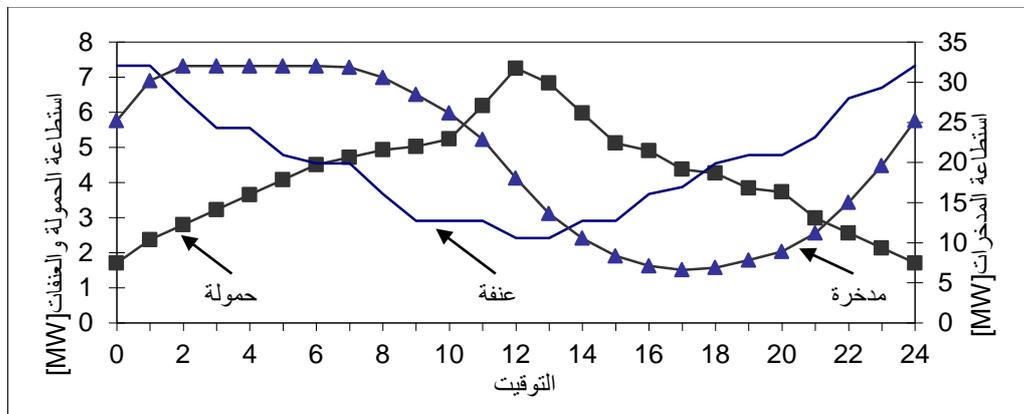


الشكل(3):المخطط الصندوقي لمولد العنفة الريحية وآلية شحن وتفريغ المدّخرات.



الشكل(4):دارة القيادة لعمل العنفة الريحية والمدخرات.

التمثيل البياني لسلوك العنفات الريحية مع المدخرات لتغذية الحمولة المطلوبة موضحة بالشكل(5).



الشكل(5):سلوك العنفات الريحية بنسبة مساهمة 75% مع نسبة مشاركة للمدخرات 25% لتغذية الحمولة.

## 2- العنفات الريحية بنسبة مساهمة 75% و وحدات ديزل بنسبة مشاركة 25%:

بالاعتماد على نتائج الدراسة في الحالة الأولى، الاستطاعة المطلوب تغذيتها من قبل وحدات الديزل تعطى

بالعلاقة:

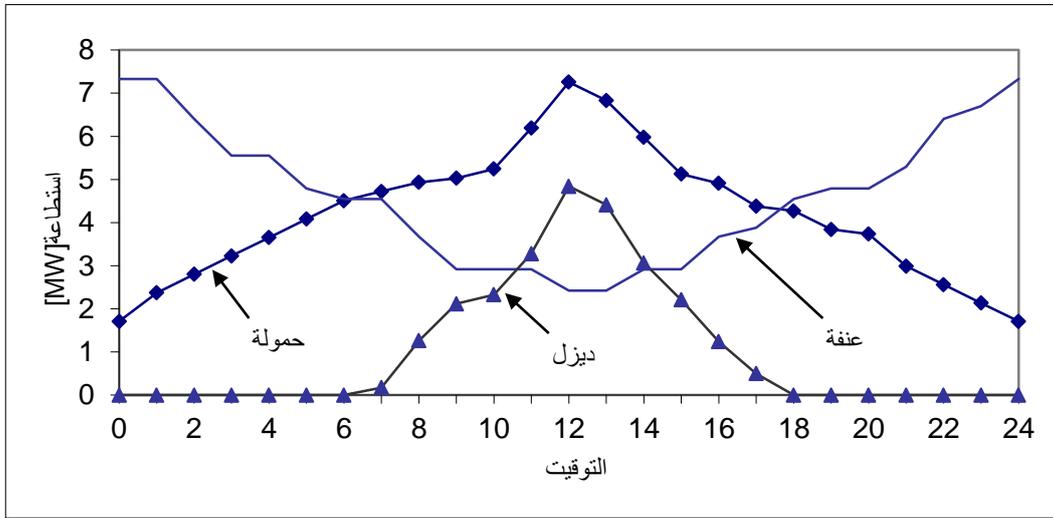
$$P_w = 0.75 \text{ Load} = 6.6 [\text{MW}] \rightarrow \text{Load} = 8800 [\text{KW}]$$

$$P_D = 0.25 \text{ Load} = 0.25 * 8800 = 2200 [\text{KW}]$$

باعتبار استطاعة الوحدة المستخدمة  $1000 [\text{KW}]$ ، بالتالي عدد الوحدات:

$$N_D = (P_D / P_{1D}) = (2200 / 1000) = 3.0 [\text{Units}]$$

التمثيل البياني لسلوك العنفات الريحية مع وحدات الديزل لتغذية الأحمال الكهربائية موضحة بالشكل (6):



الشكل (6): سلوك العنفات الريحية بنسبة مساهمة 75% مع وحدات الديزل بنسبة مشاركة 25% لتغذية الأحمال الكهربائية.

## 3- العنفات الريحية بنسبة مساهمة 50% ومدّخرات و وحدات ديزل بنسبة مشاركة 25% لكل منها:

● عدد العنفات الريحية:

إن عدد وحدات العنفات الريحية من خلال نسبة المساهمة تعطى بحسب المعادلة (6):

$$0.50 * (102.477 * 10^3 \left[ \frac{\text{KWh}}{\text{day}} \right]) * 365 \left[ \frac{\text{day}}{\text{Y}} \right] = 8760 \left[ \frac{\text{h}}{\text{Y}} \right] * 0.49 * N_w * 200 [\text{KW}] \Rightarrow$$

$$N_w = 21 [\text{units}]$$

وبالتالي استطاعة الخرج لكل الوحدات:

$$P_w = 21 * 200 = 4200 [\text{KW}] = 4.2 [\text{MW}]$$

● عدد المدّخرات:

بخصوص عدد المدّخرات والقدرة المتاحة وقدرة المدّخرات عند الشحن التام والتفريغ التام سبق عرضها في

الحالة الأولى.

● عدد وحدات الديزل:

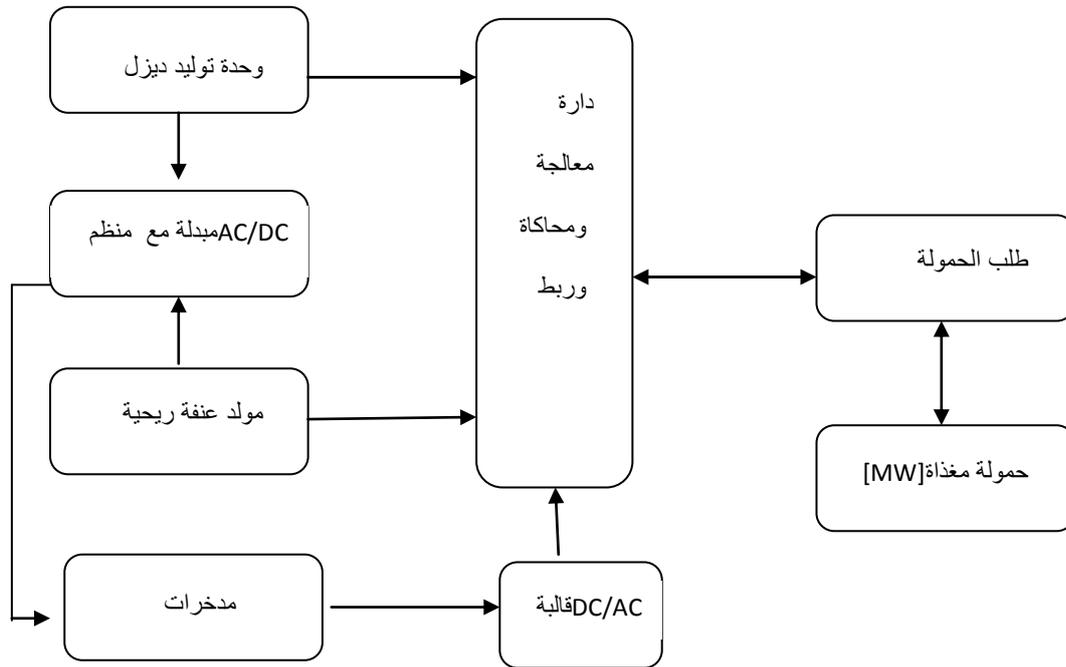
$$P_w=4.2[\text{MW}]=0.50 \text{ Load} \rightarrow \text{Load}=8.4[\text{MW}]$$

$$P_D=0.25*8.4[\text{MW}]=2.2[\text{MW}]=2200[\text{MW}]$$

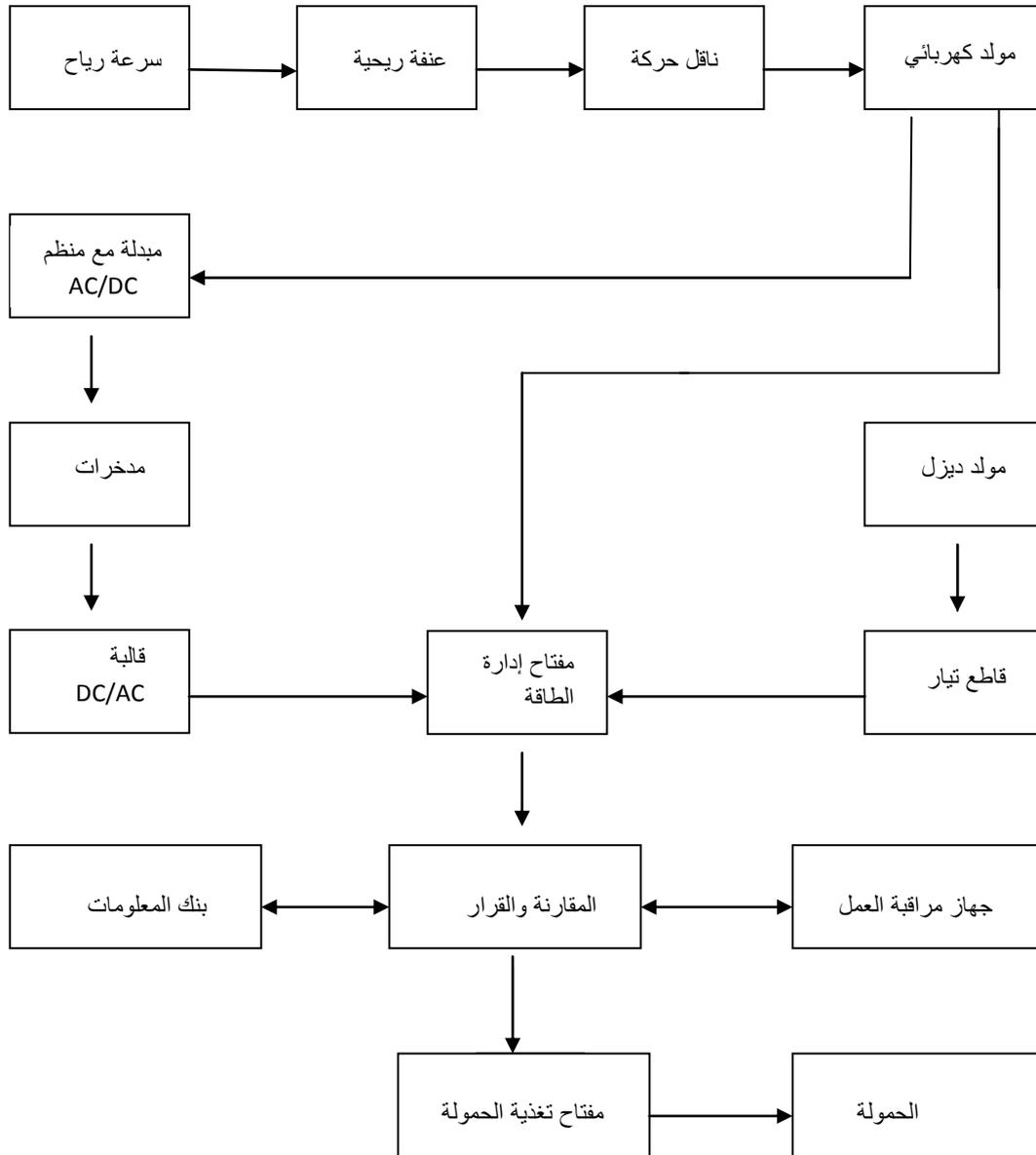
باعتبار استطاعة الوحدة المستخدمة  $1000[\text{KW}]$ ، بالتالي عدد الوحدات:

$$N_D=(P_D/P_{1D})=(2200/1000)=3.0[\text{Units}]$$

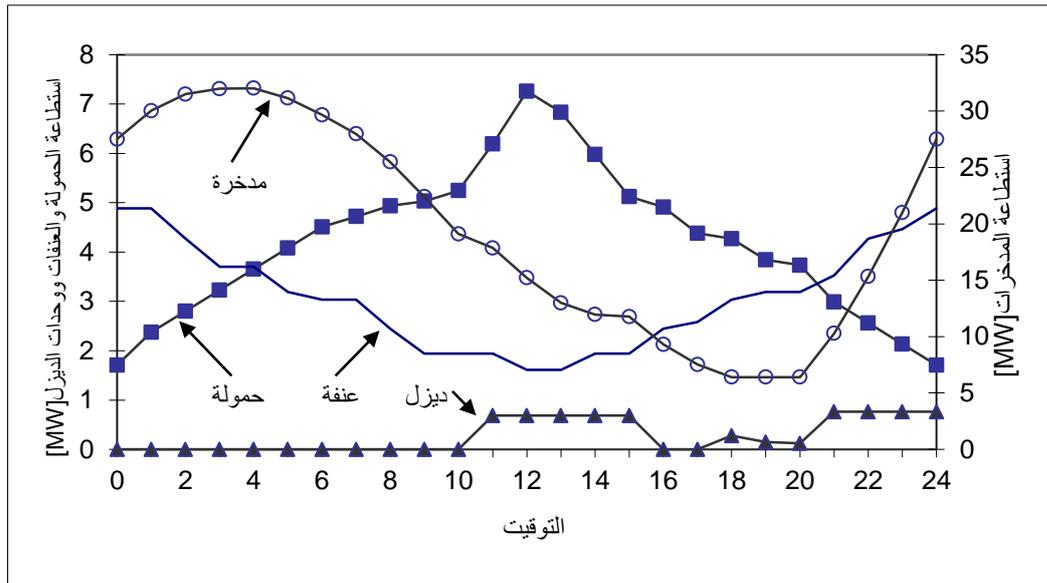
المخطط الصندوقي لعمل المنظومة والتي تضم مولدات العنفة الريحية والمدخرات ووحدات الديزل موضحة بالشكل (7)، دارة القيادة لعمل العنفة الريحية والمدخرات ووحدات الديزل موضحة بالشكل (8).  
تغذية الأحمال الكهربائية من مصادر توليد الطاقة وبحسب المخطط الصندوقي ودارة القيادة التي تضمن الموثوقية والاستقرار للحمولة وبحسب أفضلية الطاقة الكهربائية المتاحة والتي تعطى لبنك المعلومات بدءاً من العنفات الريحية ثم المدخرات وأخيراً وحدات توليد الديزل، حالة تغذية الحمل بنسبة مساهمة للعنفات الريحية 50% ونسبة مشاركة للمدخرات ولوحدات الديزل 25% لكل منها، التمثيل البياني لهذه الحالة موضح بالشكل (9).



الشكل (7): المخطط الصندوقي لعمل منظومة العنفات الريحية والمدخرات ووحدات الديزل.



الشكل (8):دارة القيادة لعمل العنفات الريحية والمدخرات ووحدات الديزل.

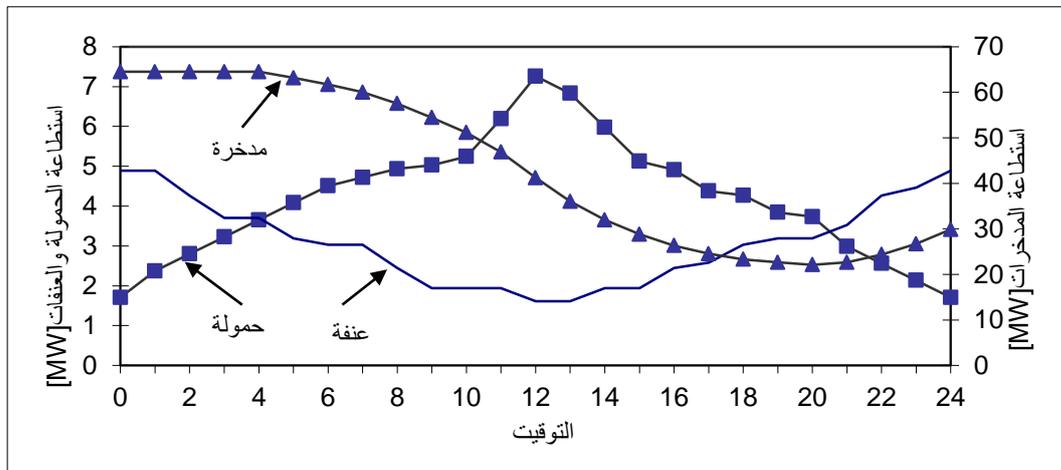


الشكل(9):تغذية المحمولة بنسبة مساهمة للعنفات الريحية 50% ونسبة مشاركة للمدخرات ووحدات الديزل 25% لكل منها.

#### 4-العنفات الريحية بنسبة مساهمة 50% ونسبة مشاركة للمدخرات 50%:

بإدخال البيانات الموافقة لهذه الحالة على البرنامج الحاسوبي نحصل على آلية تغذية الأحمال الكهربائية حسب

الشكل(10).

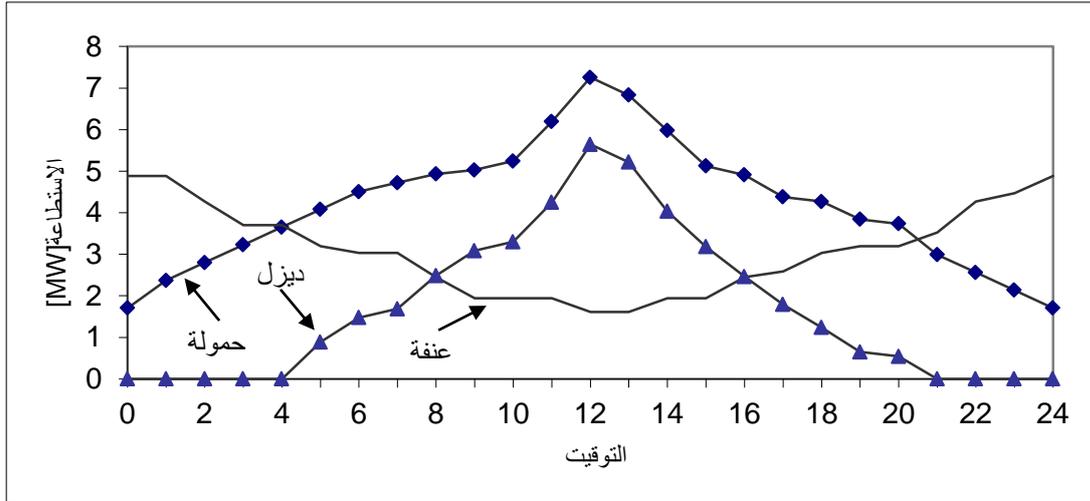


الشكل(10):تغذية المحمولة بنسبة مساهمة للعنفات الريحية 50% ونسبة مشاركة للمدخرات 50% .

#### 5-العنفات الريحية بنسبة مساهمة 50% ونسبة مشاركة لوحدات الديزل 50%:

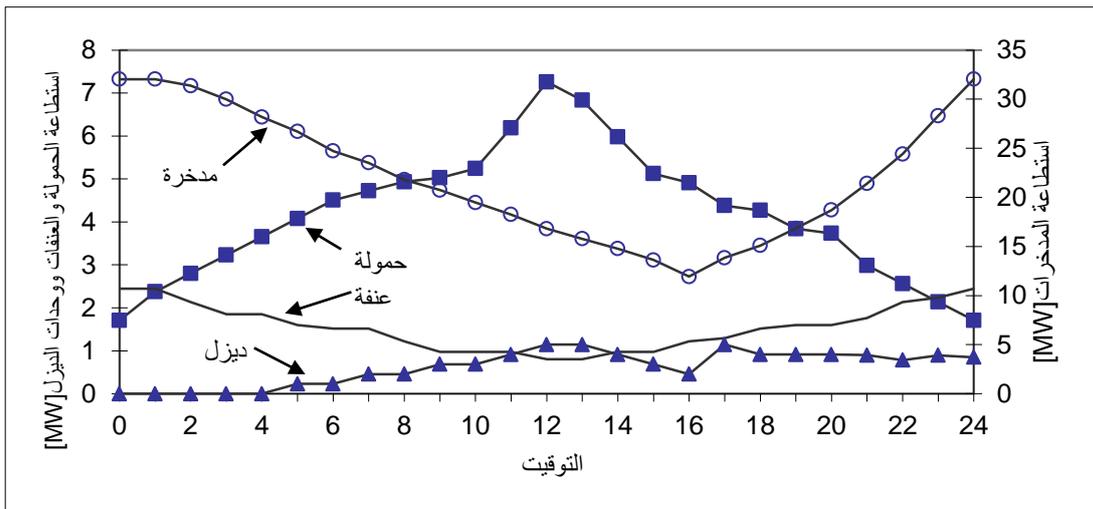
إن استخدام البرنامج الحاسوبي يتم تحديد عدد العنفات الريحية وأيضا عدد وحدات الديزل المطلوبة لتغذية

المحمولة، الطاقة المتاحة من مصادر التوليد وتغذية المحمولة المطلوبة موضح بالشكل(11).



الشكل(11):تغذية الحمولة بنسبة مساهمة للعنفات الريحية 50% ونسبة مشاركة لوحدات الديزل 50%.

6-العنفات الريحية بنسبة مساهمة 25% ونسبة مشاركة للمدخرات 25% ولوحدات الديزل 50%:  
التمثيل البياني لهذه الحالة موضح بالشكل(12).



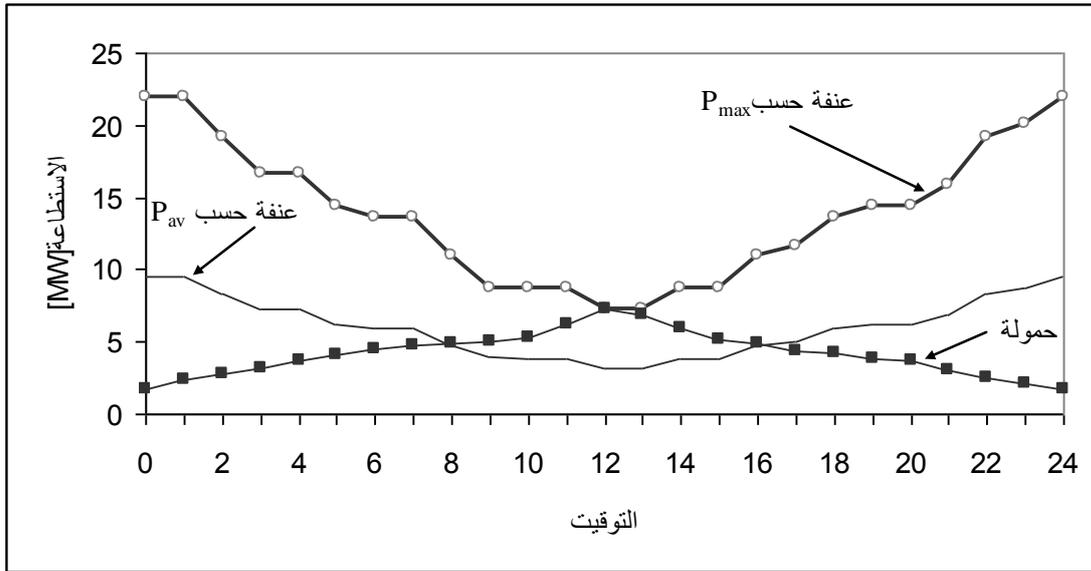
الشكل(12): مساهمة العنفات الريحية 25% ونسبة مشاركة المدخرات 25% ووحدات الديزل 50%.

7-العنفات الريحية بنسبة مساهمة 100%:

إن تغذية الحمولة من العنفات الريحية بنسبة مساهمة 100% تمت من خلال الحالتين:

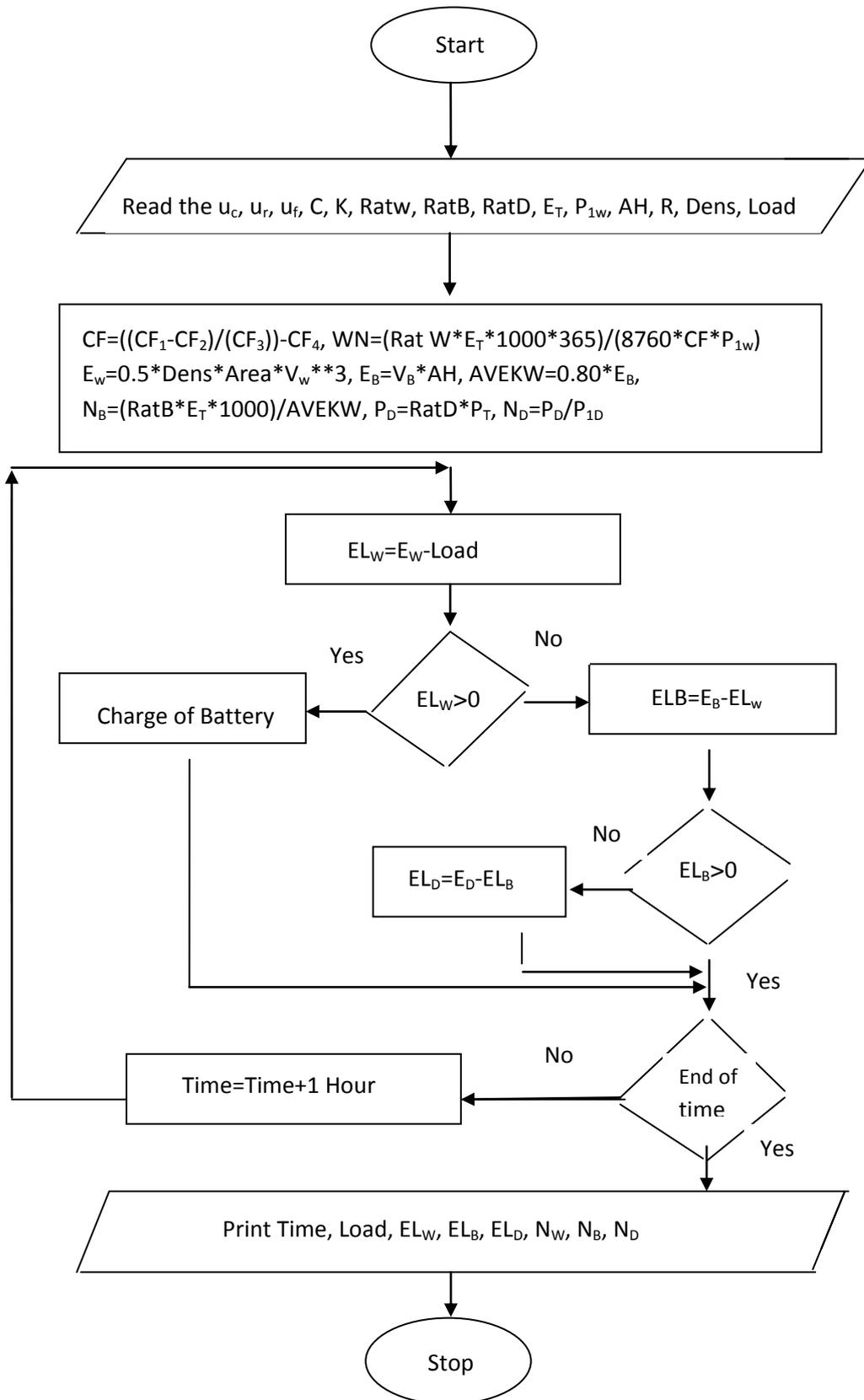
- 1-تحديد عدد العنفات الريحية من خلال قيمة الحمولة المتوسطة  $P_{av} = E_T / 24 = 4269 [KW]$ ، وحسب طبيعة الحمولة المغذاة والتي تتميز بانخفاض عامل الحمل، حيث لا يمكن للعدد الناتج من العنفات الريحية تغطية الحمولة على مدار الوقت، أي أنها تحتاج إلى مشاركة مصدر آخر للطاقة الكهربائية لتحقيق موثوقية الأداء.
- 2-تحديد عدد العنفات الريحية من خلال قيمة حمولة الذروة  $P_{max} = 7258 [KW]$ ، ولتغطية هذه الحمولة نحتاج إلى عدد كبير يتجاوز ضعف العدد للحالة الأولى، وهذا يجعل القدرة المستجرة أقل بكثير من القدرة المتاحة (Available energy) وهذا سيؤدي إلى زيادة كلفة واحدة القدرة المستجرة من العنفات الريحية.

التمثيل البياني لسلوك العنفات الريحية للحالتين السابقتين موضح بالشكل (13).



الشكل (13): مساهمة العنفات الريحية 100% ، حسب الحمولة المتوسطة وحمولة الذروة.

تم ترجمة الدراسة الرياضية أو النمذجة السابقة على شكل برنامج حاسوبي بلغة Visual Fortran 5.0 لسهولة إسقاط الدراسة على حالات عديدة ولمواصفات فنية مختلفة لمصادر توليد الطاقة الكهربائية، المخطط الانسيابي موضح بالشكل (14).



الشكل (14):المخطط الانسيابي لبرنامج حساب عدد مصادر التوليد والقدرة المسجلة من كل منها.

### الدراسة الاقتصادية:

#### 1-كلفة إنتاج وحدة القدرة:

لإيجاد كلفة إنتاج وحدة القدرة لحالة استخدام العنفة الريحية Mod-0A ونسبة مساهمة 50% ونسبة مشاركة للمدّخرات 25% ومشاركة وحدات الديزل بنسبة 25%، يمكن تحديدها من خلال الخطوات التالية:

#### ● الكلفة الثابتة:

إن الكلفة الثابتة أو كلفة الشراء لمنظومات توليد الطاقة الكهربائية تحدد من خلال الأسعار المعتمدة الموضحة بالجدول (4)[8].

الجدول(4):كلفة شراء منظومات توليد الطاقة الكهربائية.

الوصف والنوع	العنفة الريحية $C_{1w}[\$/KW]$	المدّخرة $C_{1B}[\$]$	تجهيزات مساعدة $C_{1Aux}[\$/KW]$	وحدات ديزل $C_{1D}[\$/KW]$
السعر	800	1000	15.1	300

#### الكلفة الثابتة للعنفات الريحية:

تعطى الكلفة الثابتة للعنفات الريحية بحسب عدد الوحدات اللازمة لتغذية الحمولة والتي استنتجت من خلال البرنامج الحاسوبي الموضح بالشكل (10)، وحسب سعر وحدة الاستطاعة حسب الجدول (4).

$$C_w = N_w * P_{1w} * C_{1w} \quad (9)$$

$$= 22 * 200 * 800 = 3520000[\$]$$

#### الكلفة الثابتة للمدّخرات:

$$C_{B0} = N_B * C_{1B} \quad (10)$$

$$= 4340 * 1000 = 4340000[\$]$$

بفرض أنّ العمر الاقتصادي للمدّخرات [Y] 6.25 (هي ذات محلول حمضي Lead-acid battery والعمر الاقتصادي بحسب الشركة الصانعة) حيث إن العمر الاقتصادي لمنظومة العمل (n=25[Y])، لذلك يلزم أربع مرات تبديل للمدّخرات، بذلك تصبح الكلفة الثابتة [9]:

$$C_B = C_{B0} + C_{B0}(1+i)^{-6.25} + C_{B0}(1+i)^{-12.5} + C_{B0}(1+i)^{-18.75} \quad (11)$$

حيث: [i]=6% معدل الفائدة

$$C_B = 10905673[\$]$$

**الكلفة الثابتة للتجهيزات المساعدة:**

التجهيزات المساعدة من معالجات دقيقة ودارة قيادة وتحكم للنفقة الريحية وسعر المنظم والقالبة وكابلات نقل القدرة الكهربائية والقواطع تقدر بحوالي  $C_{1AUX}=15.1[\$/KW]$ [8] من استطاعة الذروة للحمولة  $P_{MAX}$ :

$$C_{AUX}=P_{MAX}*C_{1AUX} \quad (12)$$

$$=7258[KW]*15.1[\$/KW]=109607[\$]$$

**الكلفة الثابتة لوحدات الديزل:**

من خلال العدد اللازم لوحدات الديزل وبحسب البرنامج الحاسوبي الذي يعبر الشكل (10) عن مخطئه الانسيابي، وبحسب كلفة واحدة الاستطاعة المبينة بالجدول (3)، نحدد الكلفة الثابتة لوحدات الديزل:

$$C_{D0}=N_D*P_{1D}*C_{1D} \quad (13)$$

$$=3*1000*300=900000[\$]$$

ولكن بفرض العمر الاقتصادي لوحدات الديزل تعادل  $12.5[Y]$ [10]، لذلك سنحتاج إلى جيلين من هذه الوحدات:

$$C_D=C_{D0}+C_{D0}(1+i)^{-12.5} \quad (14)$$

$$=1334429[\$]$$

**● الكلفة المتغيرة:****الكلفة المتغيرة للنفقات الريحية:**

الكلفة المتغيرة من صيانة وإشراف للنفقات الريحية تقدر بنسبة مئوية من الكلفة الثابتة بقيمة  $R_{CW}=2\%$ [11] وبالتالي:

$$R_W=R_{CW}*C_W \quad (15)$$

$$=0.02*3520000=70400[\$/Y]$$

**الكلفة المتغيرة للمدخرات:**

الكلفة المتغيرة للمدخرات تقدر بقيمة  $R_{CB}=1\%$ [12] من الكلفة الثابتة وهي تعادل:

$$R_B=R_{CB}*C_B \quad (16)$$

$$=0.01*10905673=109056.0 [\$/Y]$$

### الكلفة المتغيرة للتجهيزات المساعدة:

الكلفة المتغيرة للتجهيزات المساعدة تعادل  $R_{CAux}=1\%$  من الكلفة الأساسية وبالتالي:

$$\begin{aligned} R_{Aux} &= R_{CAux} * C_{Aux} \\ &= 0.01 * 109607 = 1096.0 \text{ [$/Y]} \end{aligned} \quad (17)$$

### الكلفة المتغيرة لوحدات الديزل:

تكاليف الصيانة:

تحدد تكاليف الصيانة لوحدات الديزل كنسبة مئوية  $R_{CD}=2\%$  من الكلفة الأولى، وبالتالي:

$$\begin{aligned} R_{MD} &= R_{CD} * C_D \\ &= 0.02 * 1334429 = 26688.0 \text{ [$/Y]} \end{aligned} \quad (18)$$

تكاليف الوقود:

استهلاك الوقود لوحددة الحجم (One liter) مقابل القدرة الكهربائية المولدة يقدر بحوالي  $R_F=0.2 \text{ [L/KWh]}$ ، القدرة المغذاة سنويا من وحدات الديزل وبحسب البرنامج الحاسوبي تبلغ:

$$E_D = 10827389 \text{ [KWh/Y]}$$

حجم الوقود المستهلك:

$$\begin{aligned} F_V &= E_D \text{ [KWh/Y]} * R_F \text{ [L/KWh]} \\ &= 10827389 * 0.2 = 2165477 \text{ [L/Y]} \end{aligned} \quad (19)$$

كلفة الوقود المستهلك:

$$F_C = F_V * P_F \quad (20)$$

حيث:  $P_F \text{ [$/L]}$ : سعر واحدة الحجم من الوقود المستهلك :

$$F_C = 2165477 \text{ [L/Y]} * 0.8 \text{ [$/L]} = 1732381.6 \text{ [$/Y]}$$

الكلفة المتغيرة لوحدات الديزل:

$$\begin{aligned} R_D &= R_{MD} + F_C \\ &= 26688 + 1732381.6 = 1759069.6 \text{ [$/Y]} \end{aligned} \quad (21)$$

الكلفة المكافئة السنوية للتكاليف الثابتة:

الكلفة الثابتة لأجزاء منظومة العمل:

$$\begin{aligned} C_T &= C_W + C_B + C_D + C_{Aux} \\ &= 3520000 + 10905673 + 1334429 + 109607 = 15869709 \text{ [\$]} \end{aligned} \quad (22)$$

المكافئ السنوي للتكاليف الثابتة [14]:

$$C_Y = C_T * R \quad (23)$$

حيث: R: معامل تحويل الكلفة الثابتة إلى مكافئ سنوي.

$$R = (1+i)^n i / ((1+i)^n - 1) \quad (24)$$

$$R = (1+0.06)^{25} 0.06 / ((1+0.06)^{25} - 1) = 0.078$$

$$C_Y = 15869709 * 0.078 = 1241435 [\$/Y]$$

التكاليف المتغيرة الكلية:

$$R_T = R_W + R_B + R_D + R_{Aux} \quad (25)$$

$$= 70400 + 109056 + 1759069.6 + 1096 = 1939621.6 [\$/Y]$$

● الكلفة السنوية:

$$A_n = C_Y + R_T \quad (26)$$

$$= 1241435 + 1939621.6 = 3181056.6 [\$/Y]$$

● كلفة إنتاج واحدة القدرة:

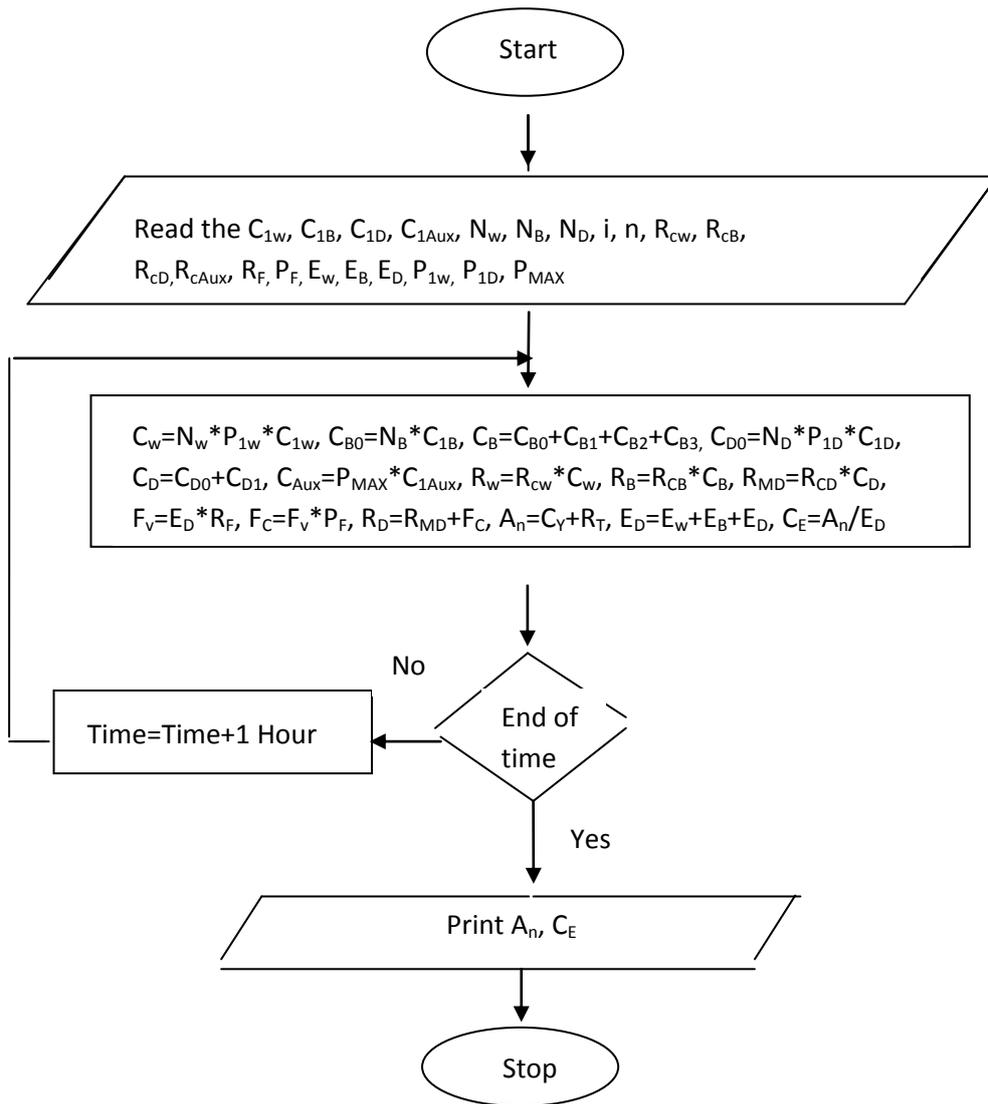
تتعلق كلفة إنتاج واحدة القدرة (Energy Cost) بالكلفة السنوية لمنظومة مصادر توليد الطاقة المختلفة  $A_n /$  وقدرة الأحمال أو طلب الحمولة (Energy Demand) المغذاة سنويا  $/E_{ED} [KWh/Y]$  والتي تحدد من خلال البرنامج الحاسوبي:

$$C_E = A_n / E_{ED} \quad (27)$$

$$C_E = 3181056.6 / 47192028 = 0.067 [\$ / KWh]$$

2- المخطط الانسيابي:

بتحويل النمذجة السابقة للدراسة الاقتصادية إلى برنامج حاسوبي بلغة Visual Fortran 5.0، وذلك لسهولة إجراء الحسابات الاقتصادية لمختلف الحالات المدروسة وذلك بغاية التوصل إلى الحالة المثالية لعمل منظومة توليد الطاقة الكهربائية ولمصادرهما المختلفة وتغذية الحمولة المطلوبة عند أقل كلفة ممكنة. المخطط الانسيابي للبرنامج الحاسوبي موضح بالشكل (15).



الشكل (15): المخطط الانسيابي للبرنامج الحاسوبي لإيجاد الكلفة السنوية وكلفة إنتاج وحدة القدرة.

### العنفة الريحية Mod-1A:

بحسب الخصائص الفنية لهذه العنفة الريحية الموضحة بالجدول (2)، وبحسب البرنامج الحاسوبي الذي عرض مخططة الانسيابي بالشكل (14)، ومن خلال ذلك تم التوصل إلى ارتفاع محور الدوران  $Z_2=45[m]$ ، وعامل السعة  $CF=0.33$

### العنفة الريحية Mod-2A:

بدراسة هذه العنفة بشكل مماثل، نستنتج ارتفاع محور الدوران والذي تبلغ قيمته  $Z_2=57[m]$ ، وعامل السعة  $CF=0.55$ .

### 3-المفاضلة الاقتصادية:

استخدام البرنامج الحاسوبي الخاص بالدراسة الاقتصادية ولمختلف الحالات المقترحة لنسب مساهمة العنفات الريحية  $W/B$  ونسب مشاركة المدخّرات  $B/D$  ووحدات الديزل  $D$  وذلك من أجل العنفات الريحية المستخدمة، نتائج هذه الدراسة وبما يخص كلفة إنتاج وحدة القدرة ( $\$/KWh$ ) موضحة بالجدول (5).

الجدول(5):كلفة إنتاج واحدة القدرة[\$/KWh] للعنفات الريحية المستخدمة  
ولمختلف نسب المساهمة للعنفات الريحية ومختلف نسب المشاركة للمدّخرات ولوحدات الديزل.

Mod-2A	Mod-1A	Mod-0A	العنفة الريحية ← الحالة المدروسة ↓
0.031	0.037	0.032	W 75% + B 25%
0.052	0.059	0.054	W 50% + B 50%
0.054	0.065	0.057	W 75% + D 25%
0.071	0.089	0.080	W 50% + D 50%
0.059	0.076	0.067	W 50% + B 25% + D 25%
0.098	0.116	0.111	W 25% + B 25% + D 50%
0.020	0.033	0.021	حسب الحمولة المتوسطة W 100%
0.039	0.063	0.041	حسب حمولة الذروة W 100%

### الاستنتاجات والتوصيات:

#### الاستنتاجات:

- استخدام دائرة قيادة يتم من خلالها تغذية طلب الحمولة اللحظي من مصادر الطاقة المتاحة وبحسب الأفضلية تؤمن عمل المنظومة بأقل كلفة ممكنة.
- إن ترتيب أفضلية مصادر الطاقة تأتي من خلال كلفة مصدر الطاقة الأولي الذي سيوظف للحصول على خرج الطاقة.
- إن العمل بالقاعدة السابقة سيجعل ترتيب مصادر توليد الطاقة كأفضلية تغذية الحمولة يبدأ بالعنفات الريحية ثم المدّخرات وأخيرا وحدات توليد الديزل.
- إن نسبة مساهمة العنفات الريحية بتغذية الحمولة تؤثر بشكل كبير على كلفة إنتاج واحدة القدرة وهي ذات علاقة عكسية شريطة وجود مشاركة من مصادر أخرى للطاقة الكهربائية تفرضها طبيعة الحمولة المدروسة لتغطية حمولة الذروة.
- إن نسبة مشاركة المدّخرات المنخفضة لتغذية الحمولة تعطي كلفة إنتاج أقل بالمقارنة مع استخدام وحدات الديزل عند النسبة نفسها.
- إجراء المفاضلة للعنفات الريحية المستخدمة ولمختلف نسب مساهمتها بتغذية الحمولة مع نسب مشاركة المدّخرات ووحدات الديزل تبين أن أقل كلفة وافقت نسبة مساهمة 75% للعنفة الريحية Mod-2A ونسبة مشاركة المدّخرات 25%. وهي تتخفف بمقدار 43% بالمقارنة مع حالة استخدام وحدات الديزل مع العنفات الريحية عند نفس النسبة.
- انخفاض نسبة مساهمة العنفات الريحية يزيد من كلفة إنتاج واحدة القدرة بشكل كبير، مثلا عند استخدام العنفة الريحية Mod-1A ونسبة مساهمة 25% مع نسبة مشاركة المدّخرات 25% ولوحدات الديزل 50% أدى إلى ازدياد كلفة القدرة بمقدار 73% بالمقارنة مع أفضل حالة.

• استخدام العنفات الريحية بنسبة مساهمة %100 قد يكون خياراً اقتصادياً مع أحمال ذات عامل حمولة قريب من الواحد لأنه سيحقق الموثوقية في الأداء، وبغياب شرط الموثوقية لا يمكن مشاركتها في المقارنة الاقتصادية.

#### التوصيات:

◊ التشجيع على استخدام الطاقات البديلة بشكل عام وطاقات الرياح على وجه الخصوص ولا سيما في المواقع ذات سرعات الرياح الاقتصادية.

◊ الأمل من وزارة الكهرباء دراسة فكرة هذا البحث دراسة جدية مع إمكانية الاستفادة من نتائجه.

◊ زيادة الاهتمام بطاقة الرياح بما يتناسب مع طاقة الخرج الممكن الحصول عليها من هذه الوحدات، حيث تقوم بعض الشركات في الوقت الحاضر بتصنيع عنفات ريحية عملاقة يصل خرجها إلى عدة ميغاوات.

◊ تقديم الدعم المادي والمعنوي لجميع البحوث المتعلقة بالطاقة المتجددة وقيام مؤتمرات دورية لمواكبة ارتفاع

هذه الأبحاث.

◊ تشجيع التعاون مع الدول المتقدمة في مجال طاقة الرياح والاستفادة من خبرتها.

#### المراجع:

- [1] محطات الأرصاد الجوية في مركز تنبؤ محافظة طرطوس.
- [2] NASA CONFERENCE PUBLICATION 2034, *Wind Turbine Structural Dynamics*. A Workshop Held At Lewis Research Center, Cleveland, Ohio, November, 15-17, 2008, 187-197.
- [3] EMANUEL, P., *Motor, Generators, Transformers, and Energy*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, Chapter 5, 2003, 375.
- [4] ATALLAH, A., SAKR, S., ABDU, H., *Wind Energy System to Cultivate A Remote Desert Area in Egypt*. Proceeding of The Fourth International Conference On Energy, Development and Environment, Cairo, Egypt, 2002, 350-362.
- [5] JOHNSON, G., *Wind Energy Systems*. Prentice Hall, 2004, 460.
- [6] GOURIERES, D., *Wind Power Plants Theory and Design*. University of Dakar, 2009, 472.
- [7] TWIDEL, J., WEIR, A., *Renewable Energy Resources*. Tata McGraw-Hill, 2008, 390.
- [8] الشركة العربية للطاقات المتجددة والتكنولوجيا ARET القاهرة، جمهورية مصر العربية، 2010.
- [9] RANAWEERA, D., FARMER, R., *Economic Impact Analysis of Load Forecasting*. IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 12, No.3, 2003, 1388-1392.
- [10] HEYWOOD, J., *Internal Combustion Energy Fundamentals*. McGraw-Hill Book Company, New York, 2008, 315.
- [11] EL-SAYED, E., *Optimum Selection of Wind Energy Pumping System*. Jl. Egyptian Society of Engineers, Vol.33, No.4, 2005, 22-32.
- [12] MANWELL, J., *Lead Acid Battery Storage Model For Hybrid Energy Systems*. Solar Energy Vol.50, No.5, 2007, 399-495.
- [13] MALATESTAS, P., *Modeling and Identification of Diesel-Wind Turbines Systems for Wind Penetration Assessment*. IEEE Trans. On Power Systems, Vol.8, No.3, 2006, 1091-1097.
- [14] BLANU, L., *Engineering Economic*. International Student Edition, New Delhi, 2004, 483.