

تكامل طاقة الرياح مع الشبكة واستخدام برنامج الاستجابة للطلب لتحقيق موثوقية التوليد الأمثل

الدكتور غسان إبراهيم

ملخص

يهدف البحث للتعرف على النهج الأمثل لعمل محطات توليد الطاقة بوجود موارد الطاقة المتجددة، مثل الرياح وذلك باستخدام استراتيجية الاستجابة للطلب. يأخذ النهج المقترح في الاعتبار التأثيرات الهامة لموارد تخزين الطاقة وبرنامج الاستجابة للطلب لجميع أنواع الأحمال ، بما في ذلك الأحمال الصناعية والتجارية. تناولت هذه الدراسة سبعة أنواع من الأحمال: السكنية والصناعية والتجارية وكبار المستخدمين والمكاتب والزراعة والحكومة. باستخدام برنامج الماتلاب تم تصميم كود يمثل تطبيق استراتيجية الطلب وإدخال الطاقة الريحية للمشاركة في تغذية الأحمال وتم رسم منحنيات الحمل للقطاعات السبعة من أجل المقارنة بين حالة توزيع الحمل وتكوّن الذروة قبل تطبيق استراتيجية الاستجابة للطلب وبعد تطبيق هذه الاستراتيجية مع إدخال طاقة الرياح للمشاركة في تلبية الطلب على الحمل.

الكلمات المفتاحية: الذروة، الأحمال، الرياح، الاستجابة للطلب، استقرار الشبكة.

Wind power integration with the grid and use of demand response to achieve optimal generation reliability

The main objective of the research is to identify the optimal approach for generating power plants in the presence of renewable energy resources, such as wind, using demand response strategy. The proposed approach takes into account the significant effects of energy storage resources and demand response program for all demand loads, including industrial and commercial loads. This study considered seven types of loads: residential, industrial, commercial, large users, offices, agriculture, and government. Using MATLAB, a code is designed to represent the application of demand strategy and the introduction of wind energy to participate in feeding the loads. The load curves for the seven sectors are drawn to compare the load distribution and peak formation status before applying the demand response strategy and after applying this strategy with the introduction of wind energy to participate in meeting the load demand.

Keywords: Peak, Loads, Wind, Demand Response, Grid Stability.

مقدمة:

يجمع العالم تقريباً على أنه يمكن تحقيق نظام الطاقة المستدامة من خلال دمج طاقة الرياح في الشبكات الكهربائية بسبب ميزاتها الأساسية المتمثلة في عدم انبعاث الكربون وتأمين الإمدادات غير المحدودة تقريباً. ومع ذلك يجب أن ترفد مزارع الرياح الشبكة بالطاقة، بحيث تكون تكاليف توليد الطاقة مساوية أو أرخص من الأساليب الحالية للتوليد، لكي يكون تكاملها مجدياً اقتصادياً. ومع ذلك، فإن الطبيعة المتقطعة لطاقة الرياح تشكل خطراً محتملاً على موثوقية أنظمة الطاقة. لذا يعدّ تشغيل النظام بظروف آمنة منخفضة التكلفة أحد أهم الأغراض الأساسية لمشغلي أنظمة الطاقة، حيث يبحث الباحثون في العديد من التقنيات التي يمكن أن تسهل التكامل السلس لطاقة الرياح دون المساس بموثوقية أنظمة الطاقة. ومن خلال تعزيز مزارع الرياح بأنظمة التخزين كالبطاريات، يتم توفير حل بسيط لتقليل هذه المخاطر. أثبتت العديد من الدراسات التي بحثت في استخدام أنظمة الطاقة أنها يمكن أن تحسن تكامل مصادر الطاقة المتجددة (RES) وتساعد في تخفيف الضّغط عن الشبكات. قد يتأثر الجهد والتيار في النظام بإضافة طاقة الرياح، مما قد يكون له تأثيرات ضارة إضافية. كما أنّ انخفاض العطالة الناتج عن إضافة مصادر الطاقة المتجددة يزيد من الحاجة إلى احتياطات الأحمال، مما يؤدي في النهاية إلى رفع تكاليف التشغيل [1]. عادةً ما تتواجد مصادر الطاقة المتجددة في مواقع جغرافية نائية نتيجة اعتمادها على الظروف المناخية. ونتيجة للقدرة المحدودة لخطوط النقل والقيود الحرارية القريبة لشبكات الطاقة الحديثة، فإن دمج مصادر الطاقة المتجددة في الشبكة يتطلب الكثير من العمل. ومن أجل النظر في التوليد المتغير للطاقة المتجددة، لا بدّ من تعديل الشبكات الحالية أو تحسينها وإنّ إنشاء خطوط نقل جديدة أو تحسين الخطوط الحالية يتطلب استثمارات مالية كبيرة [2]. ولهذا السبب يعدّ استخدام أنظمة تخزين الطاقة (ESS) لتعزيز عمل أنظمة الطاقة طريقة فعالة لتحسين استقرار شبكة الطاقة ومن خلال تخزين الفائض من الطاقة وإطلاقها عندما يكون هناك طلب مرتفع، توفر أنظمة تخزين الطاقة نهجاً ذكياً للتعامل مع اختلافات مخرجات الطاقة، والحفاظ على التردد، وضمان استقرار الجهد، وتعزيز الجودة الشاملة لمصدر الطاقة. يعدّ تحسين إنتاج الطاقة، وتقليل ذروة الحمل، وتعزيز الجهد والتردد، من المزايا الإضافية لأنظمة تخزين الطاقة [3]. ومن خلال تضمين أنظمة تخزين الطاقة، يتم ضمان توفير الكهرباء دون انقطاع للعملاء وتجنب

الانقطاعات. يشير مفهوم استجابة الطلب إلى مجموعة من الاستراتيجيات التي تعمل مع المرافق الكهربائية لتغيير طريقة استخدام المستهلكين للطاقة وإفادة كلا الطرفين [4]. تقدم استراتيجية (استجابة الطلب) العديد من الفوائد، مثل تقليل تكاليف التشغيل للمرافق والمستهلكين، وزيادة موثوقية نظام الطاقة، وتقليل أحمال الذروة، وتقليل الضغط على الشبكة. من أجل إنشاء أنظمة طاقة مستدامة تعتبر أنظمة (استجابة الطلب) و(أنظمة تخزين الطاقة) مكونين أساسيين فعند استخدامهما، يتم تقليل تكرار ومدة الانقطاعات، مما يؤدي إلى زيادة كبيرة في موثوقية نظام الطاقة [5]. من خلال طريقة استجابة الطلب يمكن خفض أحمال الذروة بشكل فعال، ومن الممكن تخزين مصادر الطاقة المتجددة خارج ساعات الذروة وإطلاق تلك الطاقة المخزنة لتلبية الطلب في ذروة الطلب عن طريق تحديد موقع تخزين الطاقة بعناية [6]. بفضل طريقة (استجابة الطلب) يصبح نظام الطاقة أكثر تطوراً وقدرة على التعامل مع تغيرات الحمولة [7].

تعمل استراتيجية استجابة الطلب على موازنة التوليد والحمل في سياق التوليد الموزع مع الأخذ في الاعتبار السلوك غير المتوقع للأحمال والتحكم في مدى جودة نظام الطاقة والذي يستخدم موارد طاقة الرياح والطاقة الشمسية. تتمثل الخطوة الأولى في العملية التحليلية ضمن استراتيجية استجابة الطلب لتقييم النظام هي اقتراح نموذج احتمالي يعتمد على هيكل النظام ووظيفته. ثم يتم حساب العديد من المؤشرات عن طريق حل هذه النماذج باستخدام العمليات التكرارية. يستخدم هذا النوع من التحليل السكاني والتقريبي ويتضمن التعداد. يتم تقييم نموذج المخاطر من خلال دمج نموذج التعداد مع نموذج الحمل ودراسة جانبيين رئيسيين: طريقة "توقع فقدان الحمل"، والتي تقيم احتمالية تجاوز الطلب على الكهرباء على أساس إجمالي قدرة التوليد، وطريقة نهج "التكرار والمدة"، الذي يحلل احتمالية ومدة الاضطراب أو الانقطاع ويمكن استخدام الكثير من الخوارزميات لتحقيق ذلك مثل طريقة سرب الجزئيات [8]، والخوارزمية الجينية [9].

الهدف من البحث:

تطرح هذه الدراسة النهج الأمثل لتوليد محطات الطاقة في ظل وجود موارد الطاقة المتجددة، مثل الرياح باستخدام استراتيجية الاستجابة للطلب. يأخذ النهج المقترح في الاعتبار التأثيرات الهامة لموارد تخزين الطاقة وبرنامج الاستجابة للطلب لجميع أحمال الطلب، بما في ذلك الأحمال الصناعية والتجارية. تهدف هذه الدراسة لتطبيق استراتيجية الاستجابة للطلب على سبعة أنواع من الأحمال: السكنية والصناعية والتجارية وكبار المستخدمين والمكاتب والزراعة والحكومة، واستخراج منحنيات الأحمال لهذه الأنواع قبل تطبيق الاستجابة للطلب وبعدها، والتعرف على أثر استراتيجية الاستجابة للطلب مع إدخال الطاقة الريحية للمشاركة في تغذية الحمولة.

الدراسات السابقة:

دراسة [10] المنشورة عام (2019)، بيّنت أنّ المستهلكين يستجيبون لسعر الكهرباء ويغيرون نمط استهلاكهم الأساسي للطاقة وفقاً لذلك من أجل الحصول على فوائد إضافية. ومع تطوّر أنظمة الطاقة المتنوعة (الكهربائية والحرارة، والغاز الطبيعي،...) حيث أصبح المستهلكين قادرين على المشاركة في الاستجابة للطلب وهذا ما سُمّي بالاستجابة المتكاملة للطلب (Integrated Demand response). وبينت الدراسة أنّه يمكن للمستهلك الاستجابة ليس فقط من خلال تقليل استهلاك الطاقة أو الاستهلاك خارج أوقات الذروة وإنما من خلال تغيير نوعيّة الطاقة المستهلكة.

دراسة [11] المنشورة عام (2021) أكّدت على أنّ تزايد الاستجابة للطلب من قبل المستهلكين المنزليين والصناعيين وغيرها من القطاعات يؤمّن مرونة في أنظمة الطاقة المتجددة. ولكن مازال مفهوم الاستجابة للطلب محدود الاستخدام، واختبرت الدراسة الإمكانيات الاقتصادية المستقبلية للاستجابة للطلب في منطقة الشمال الأوروبي الغنيّة بمصادر الطاقة المتجددة.

دراسة [12] المنشورة عام (2020) اقترحت مجموعة من محدّدات الاستجابة للطلب كأوقات التشغيل وأوقات التوقف، وعدد مرّات الإقلاع في اليوم، وحدود الطاقة المسموح بها وفترات الاسترداد المطلوبة. تمّ اختبار الاستجابة

للطلب وفق المحددات المذكورة باستخدام بيانات أحمال في الهند، وتبين أن استجابة الطلب تقلل من تكاليف الإنتاج من خلال استبدال المولدات الحرارية ذات التكلفة العالية بمصادر الطاقة المتجددة.

الاستجابة للطلب:

تشير طريقة الاستجابة للطلب (Dynamic Response) إلى مجموعة متنوعة من الأساليب لتغيير كمية وتوقيت استخدام الكهرباء للمستهلكين، مما يسمح لمورد الكهرباء بموازنة العرض والطلب على الكهرباء بسهولة أكبر. هناك عوامل رئيسية مشتركة تشترك فيها العديد من برامج الاستجابة للطلب الناجحة. وتشمل هذه العوامل ما يلي [١٠]:

١. تقليل القيود التي تحول دون دخول المشاركين المحتملين.

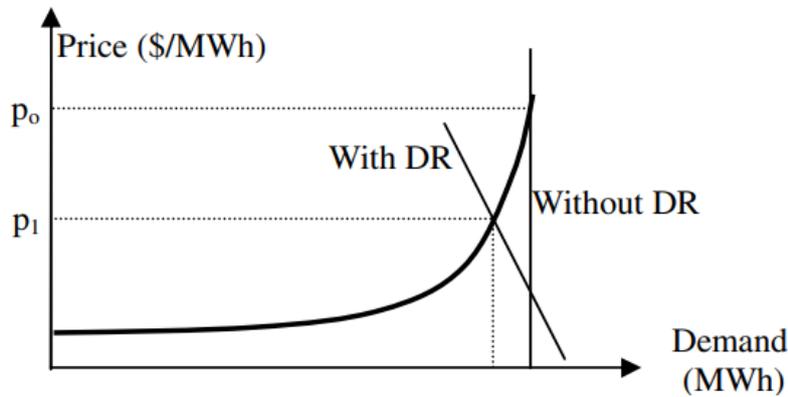
٢. منهجية التعويض التي تشجع على المشاركة.

٣. الثقة في وجود ما يكفي من استجابة الطلب خلال ساعات الذروة لتجنب بناء وحدات توليد جديدة.

يجب أن يتم توليد الكهرباء في الوقت الذي تكون فيه هناك حاجة إليها لتلبية متطلبات جميع المستهلكين بشكل موثوق. فعندما يقوم الفرد بتشغيل مكيف الهواء في المنزل أو عندما يتم تشغيل تجهيزات في المصنع، يتوقع المستهلكين أن تبدأ أجهزتهم بالعمل على الفور من خلال أنظمة تخزين الطاقة. وبالرغم من ذلك، هناك صعوبة في تخزين الكهرباء بفعالية وكفاءة بكميات كبيرة لتلبية هذا الطلب بالشكل الفوري. يتطلب ضمان توصيل الكهرباء بشكل موثوق على نطاق الشبكة جهوداً مستمرة وفورية لمطابقة العرض من موارد توليد الطاقة مع الطلب المتقلب باستمرار من المستهلكين السكنيين والتجاربيين والصناعيين. ويتم تحقيق ذلك باستخدام مجموعة متنوعة من تقنيات توليد الطاقة القابلة للتوزيع السريع مثل محركات الديزل وتوربينات الغاز. وقد أدى الانتشار الأخير لتقنيات توليد الطاقة المتجددة المتغيرة مثل الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتوربينات الرياح إلى زيادة التحديات المتمثلة في تحقيق التوازن بين العرض والطلب على الكهرباء للمستهلكين.

فوائد الاستجابة للطلب:

إنّ برامج الاستجابة للطلب تحسّن أداء السوق الكهربائي، وإنّ المشاركين في برامج الاستجابة للطلب لديهم خيارات متنوعة حتى عندما لا تكون منافسة البيع بالتجزئة متاحة، ويمكن للمستهلكين إدارة استهلاكهم، وهذا ما يؤثر على الأسعار وعلى البرامج المستخدمة. ويعدّ الأساس للكثير من المستخدمين لتأمين برامج الاستجابة للطلب وخاصة للمستهلكين من الدرجة الكبيرة. يحسّن مبدأ الاستجابة للطلب تقلّبات الأسعار في السوق. وبيّنت إحصائيات حول أزمة الكهرباء في كاليفورنيا بين عامي (٢٠٠٠-٢٠٠١) أنّ الانخفاض الطفيف في الطلب بنسبة ٥% مثلاً يؤدي إلى انخفاض الأسعار بنسبة ٥٠% أثناء الأزمة. إن زيادة تكاليف التوليد بشكل مضاعف أثناء الاقتراب من سعة التوليد العظمى، يجعل الاستجابة للطلب الحل الأمثل لتقليل هذه التكاليف، حيث أنّ التقليل في الطلب يؤدي إلى حدوث انخفاض كبير في تكاليف التوليد والذي بدوره يقلل من سعر الكهرباء كما هو موضّح بالمخطط [14]:



الشكل ١ أثر استخدام الاستجابة للطلب على سعر الكهرباء

برنامج الاستجابة للطلب:

إن برنامج الاستجابة للطلب يغيّر الطلب على الحمل الذي يفوق النسبة المحددة لأحمال الذروة ويوزعها بشكل متساوي على الساعات خارج أوقات الذروة عندما يكون مستوى الحمل أقل من العتبة وفق التالي:

$$\overline{L(t)} = \begin{cases} P_k & t \in \Omega \\ \left(L(t) + \frac{\sum_{t \in \Omega} (L(t) - P_k)}{N} \right) \leq P_k & t \in \Psi \end{cases} \quad (1)$$

حيث $\overline{L}(t)$ و $L(t)$ منحنيات الطلب على الحملية الأصلية والمعدلة. P_k : النسبة المسموحة من الحمل الأعظمي،

Ω : مجموعة الساعات التي يكون فيها الحمل الأصلي يفوق P_k

Ψ : مجموعة الساعات التي يكون فيها مستوى الحمل أدنى من P_k .

السطر الثاني من المعادلة يشير إلى أن استعادة الحمل يتم من خلال تحديد مستوى الحمل المستعاد إلى النسبة المسموحة P_k لتجنب تشكل ذرى جديدة. عندما تتشكل ذرى جديدة فإنه تتم إضافة الحمل المتبقي فوق الذروة المحددة إلى الساعات التالية لتتم تنظيم كافة الأحمال المتبقية. تطبق معادلة الاستجابة للطلب بشكل مستقل على كل قطاع حمولة، وهذا يعني أن إجراء تغيير الأحمال قابل للتعديل على كل قطاع حمولة، وقد يختلف من قطاع لآخر.

طاقة الرياح:

بعد الحصول على بيانات سرعة الرياح، يتم إدخالها إلى صيغ رياضية تجعلها قابلة للنمذجة وبالتالي الحصول على قيم طاقة رياح لاستخدامها في برنامج الاستجابة للطلب. تم استخدام صيغ autoregressive moving ARMA (average model) كونها قادرة على محاكاة عدد لانتهائي من قيم سرعات الرياح، وحسبت الاستطاعات المطلوبة من خرج المزرعة الريحية بإهمال تذبذبات سرعة الرياح وفق التالي:

$$P_b^W = \begin{cases} 0 & 0 \leq V_W < V_{ci} \\ (A + BV_W + CV_W^2)P_r & V_{ci} \leq V_W < V_r \\ P_r & V_r \leq V_W < V_{co} \\ 0 & V_W \geq V_{co} \end{cases} \quad (2)$$

حيث P_r الاستطاعة الاسمية لمزرعة الرياح، V_{ci} ، V_r ، V_{co} ، سرعة القطع والسرعة الاسمية، وسرعة الوصل بالترتيب وتم حساب A, B, C كما يلي:

$$A = \frac{1}{(V_{ci}-V_r)^2} \left[V_{ci}(V_{ci} + V_r) - 4(V_{ci}V_r) \left(\frac{V_{ci}+V_r}{2V_r} \right)^3 \right] \quad (3)$$

$$B = \frac{1}{(V_{ci}-V_r)^2} \left[4V_{ci}(V_{ci} + V_r) \left(\frac{V_{ci}+V_r}{2V_r} \right)^3 - 3 - 4(V_{ci}+V_r) \right] \quad (4)$$

$$C = \frac{1}{(V_{ci}-V_r)^2} \left[2 - 4 \left(\frac{V_{ci}+V_r}{2V_r} \right)^3 \right] \quad (5)$$

برنامج الإدخال الأمثل حسب استراتيجية الاستجابة للطلب:

يهدف البرنامج من أجل تأمين الإدخال الأمثل لوحدة الرياح وتنفيذ برنامج الاستجابة للطلب من خلال تقليل تكلفة تقليص الطاقة المتوقع، باستثناء تكلفة نظام التوليد، وجدولة الحمولة المتوقعة الناتجة عن برنامج الاستجابة للطلب وتكاليف انبعاث الكربون المتوقع.

إنّ سعة التوليد لطاقة الرياح تساوي:

$$C_{wind}^{Gb} = C_{oil}^{GB} \alpha_{oil}^{GB} + C_{cl}^{GB} \alpha_{cl}^{GB} + C_{ncl}^{GB} + C_{hy}^{GB} \alpha_{hy}^{GB} \quad (6)$$

حيث C سعة التوليد ب MW.

α نسبة الاستطاعة المولدة التي استبدلت بالطاقة الريحية وتقع النسبة بين ٠ و ١.

GB : عدد باسبارات التوليد.

الدراسة العملية:

تم استخدام شبكة اختبار IEEE ذات ٢٤ قضيب تجميع، بالإضافة إلى بيانات التوليد والتحميل، لتوضيح أثر الاستراتيجية المقترحة. يحتوي نظام التوليد الأصلي لـ ١٠ باسبارات، وجميعها مواقع مرشحة لاستضافة مزارع الرياح. تم أخذ عينات من بيانات سرعة الرياح التاريخية من ١٠ مواقع مختلفة في مركز تنمية المناطق الحضرية ووضع نماذج لها وفقاً لنموذج طاقة الرياح، والذي يتم استخدامه بعد ذلك لحساب إنتاج طاقة الرياح، واحدة لكل مزرعة من مزارع الرياح المحتملة.

تكامل طاقة الرياح مع الشبكة واستخدام برنامج الاستجابة للطلب لتحقيق موثوقية التوليد الأمثل

الوقود	التقنية المستخدمة في التوليد	الباسبار	السعة
النفط	توربين الاحتراق	١	٤٠
		٢	٤٠
	توربين بخاري	٧	٣٠٠
		١٣	٥٩١
		١٥	٦٠
الفحم	توربين بخاري	١	١٥٢
		٢	١٥٢
		١٥	١٥٥
		١٦	١٥٥
		٢٣	٦٦٠
الماء الخفيف	بخار نووي	١٨	٤٠٠
		٢١	٤٠٠
الماء	توربين هيدروليكي	٢٢	٣٠٠

جدول ١ قيم الأحمال للقطاعات المختلفة

	المكتبية	الحكومية	الزراعية	الاستهلاكات الكبيرة	التجارية	الصناعية	السكنية	
١	0	0	0	104.9	0	323	603.71	
٢	0	0	0	98.8	0	323	560.37	

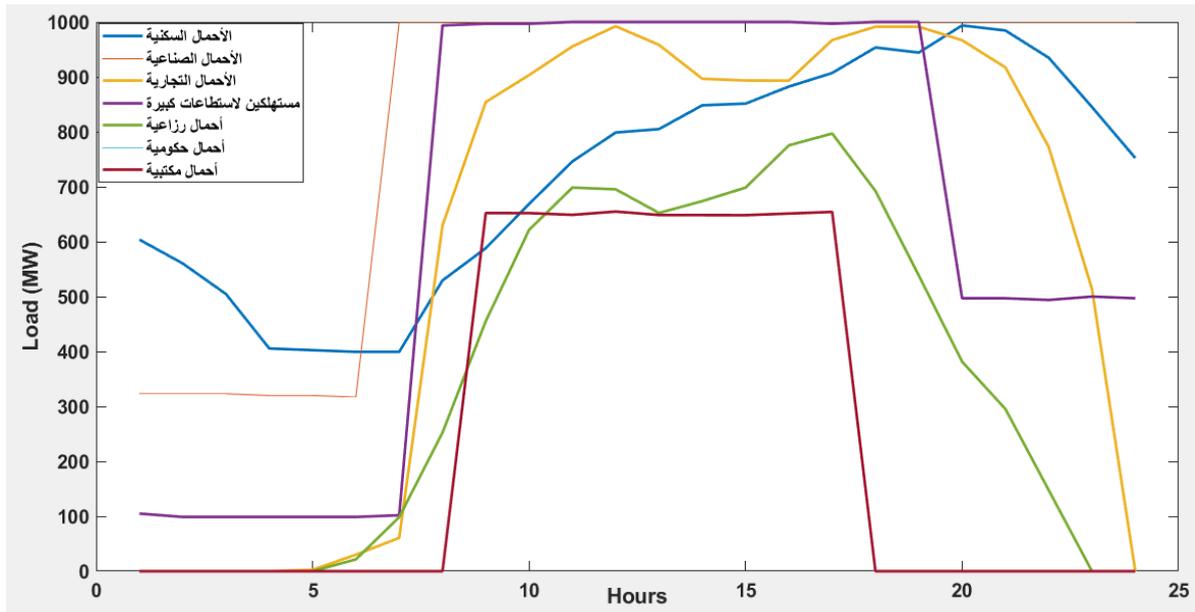
0	0	0	98.8	0	323	504.64	٣
0	0	0	98.8	0	320	405.57	٤
0	0	0	98.8	2.5445	320	402.47	٥
0	0	21.5385	98.8	30.0927	317	399.38	٦
0	0	98.4615	101.9	60.731	1000	399.38	٧
0	0	252.308	993.8	629.748	1000	529.41	٨
652.168	652.168	455.385	996.9	854.263	1000	405.57	٩
652.031	652.031	621.538	996.9	903.337	1000	402.47	١٠
648.803	648.803	698.462	1000	955.505	1000	399.38	١١
654.859	654.859	695.385	1000	992.31	1000	399.38	١٢
648.531	648.531	652.308	1000	958.298	1000	529.41	١٣
648.399	648.399	673.846	1000	896.62	1000	588.23	١٤
648.267	648.267	698.462	1000	893.442	1000	668.73	١٥
651.213	651.213	775.385	1000	893.281	1000	746.13	١٦
654.191	654.191	796.923	996.9	967.018	1000	798.76	١٧
0	0	692.308	1000	991.555	1000	804.95	١٨
0	0	538.462	1000	991.459	1000	848.29	١٩
0	0	381.538	496.9	966.747	1000	851.39	٢٠
0	0	295.385	496.9	917.351	1000	882.35	٢١

تكامل طاقة الرياح مع الشبكة واستخدام برنامج الاستجابة للطلب لتحقيق موثوقية التوليد الأمثل

0	0	147.692	493.8	772.6	1000	907.12	٢٢
0	0	0	500	513.995	1000	953.56	٢٣
0	0	0	496.9	0	1000	944.27	٢٤
						993.80	٢٥
						984.52	٢٦
						934.98	٢٧
						845.20	٢٨
						752.32	٢٩

تم تحويل البيانات السابقة والمعادلات من (١) إلى (6) إلى كود برمجي باستخدام بيئة الماتلاب الموضحة في

الملحق، ومن خلالها حصلنا على النتائج التالية:

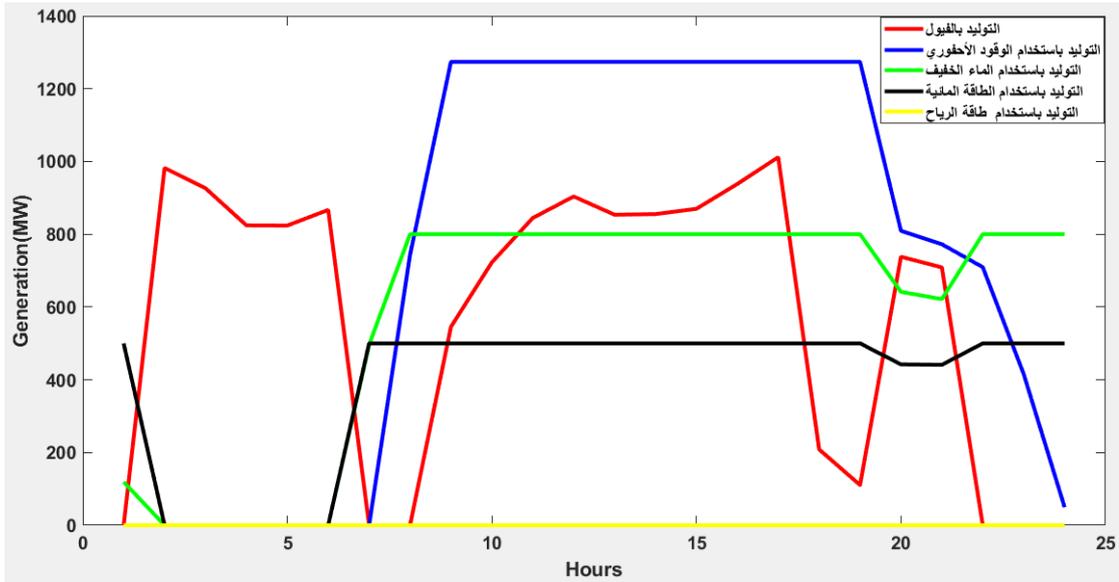


الشكل ٢ منحنيات الأحمال في مختلف القطاعات ليوم كامل

عادةً ما يصل الطلب على كل قطاع إلى ذروته ويظل مرتفعاً باستمرار خلال ساعات العمل العادية، تقريباً من الساعة ٦ صباحاً حتى ٨ مساءً. ومن الجدير بالذكر أن القطاع السكني يظهر نمطاً أكثر استقراراً، حيث يحافظ على مستوى ثابت نسبياً على مدار اليوم مقارنة بالقطاعات الأخرى. يمكن أن يختلف اختيار أنماط قطاع الأحمال بناءً على بيانات استهلاك الكهرباء المجمعة، وستؤثر هذه التحديدات فقط على القيم الرقمية داخل المحاكاة.

• بدون أنظمة التخزين:

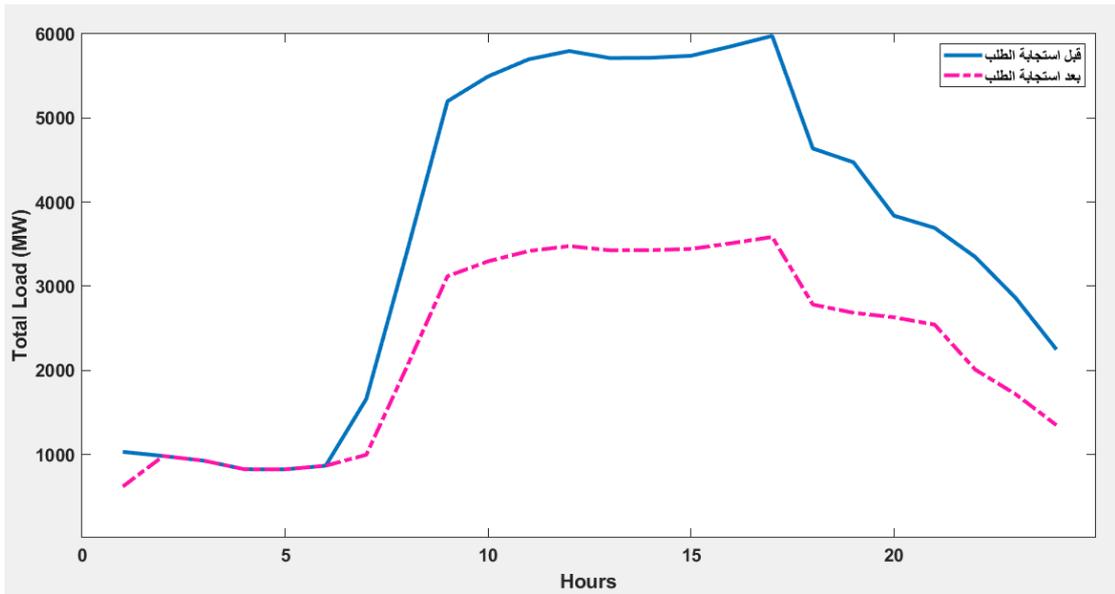
تم الحصول على الاستطاعات المولدة بواسطة (الفيول، الوقود الأحفوري، الماء الخفيف، والطاقة المائية) بدون توليد من مصادر الطاقة المتجددة وبدون استخدام أنظمة التخزين كما في الشكل التالي:



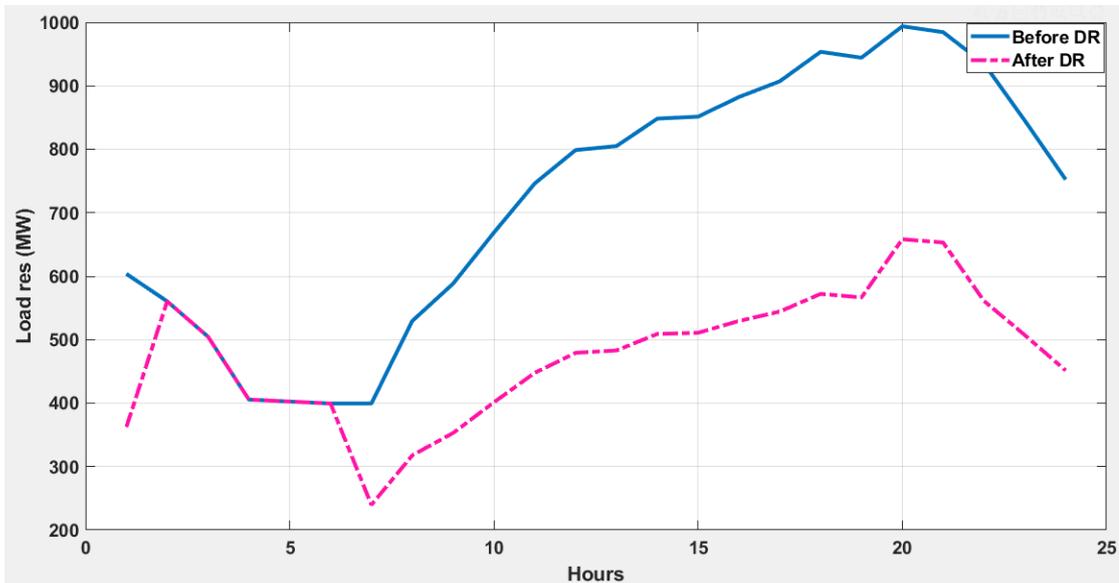
الشكل ٣ الاستطاعة المولدة بدون مشاركة الطاقة المتجددة

الحمل الكلي:

إنّ الارتفاع في الحمل الكلي أثناء ساعات الذروة يشير إلى أنّ المعدّل العالي للطلب الأعظمي يتناقص مع تطبيق استراتيجية الاستجابة للطلب. تمت مقارنة منحنى الحمولة الكلية بدون تطبيق برنامج الاستجابة للطلب ومع تطبيق البرنامج ووجد أنّ الذروة الموجودة في منحنى الحمل في الحالة الأولى تناقصت بشكل ملحوظ في الحالة الثانية، وبما أنّ الحمل الكلي تناقص فهذا يشير إلى تحسّن ملحوظ في منحنى الحمولة أثناء ساعات الذروة.



الشكل ٤ منحنى الحمل الكلي خلال ٢٤ ساعة قبل وبعد استراتيجية الاستجابة للطلب

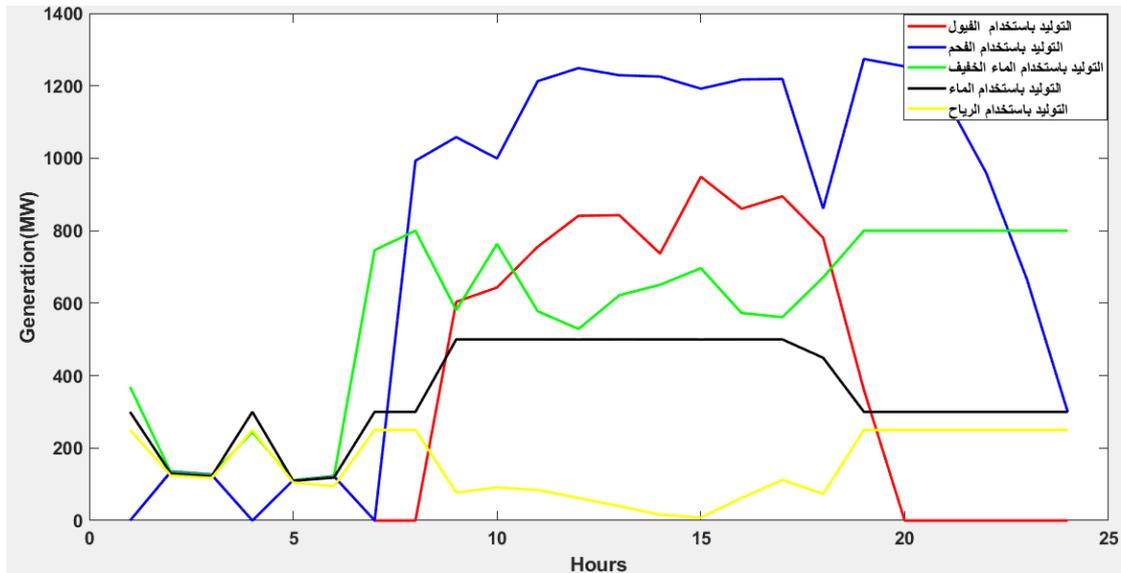


الشكل ٥ منحنى الحمل السكني خلال ٢٤ ساعة قبل وبعد استراتيجية الاستجابة للطلب

بملاحظة الشكل السابق نجد أن ذروة الأحمال السكنية وصلت إلى 1000 MW قبل تطبيق الاستجابة للطلب، وبعد تطبيقه نجد أن الحمل تناقصت لـ 650MW. وبشكل عام، نلاحظ أن منحنى الحمل تحسّن بالمجمل خلال ساعات اليوم بعد تطبيق الاستجابة للطلب.

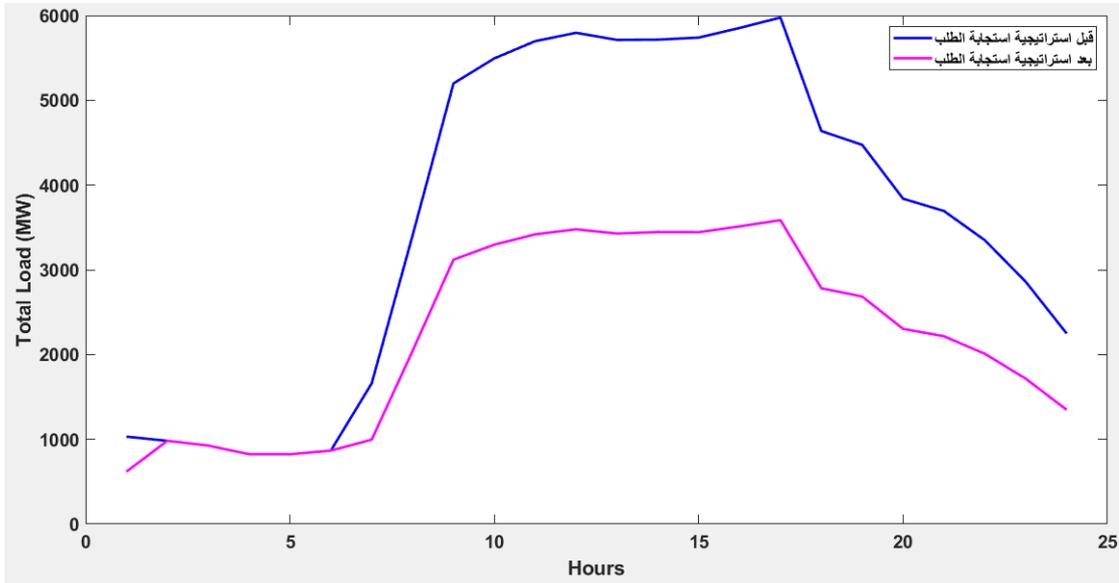
• باستخدام أنظمة التخزين:

في هذه الحالة تم إدخال أنظمة الطاقة المتجددة (طاقة الرياح) لتساهم في التوليد بالمشاركة مع بقية الوحدات في تغذية الحمل وتم رصد التغيرات في الحمل خلال 24 ساعة بوجود استراتيجية الاستجابة للطلب وبدونها والشكل التالي يبين الاستطاعات المولدة باستخدام (الفيول، الفحم، الماء الخفيف، الماء، الرياح).



الشكل ٦ الاستطاعة المولدة بدون مشاركة الطاقة المتجددة

الحمل الكلي:



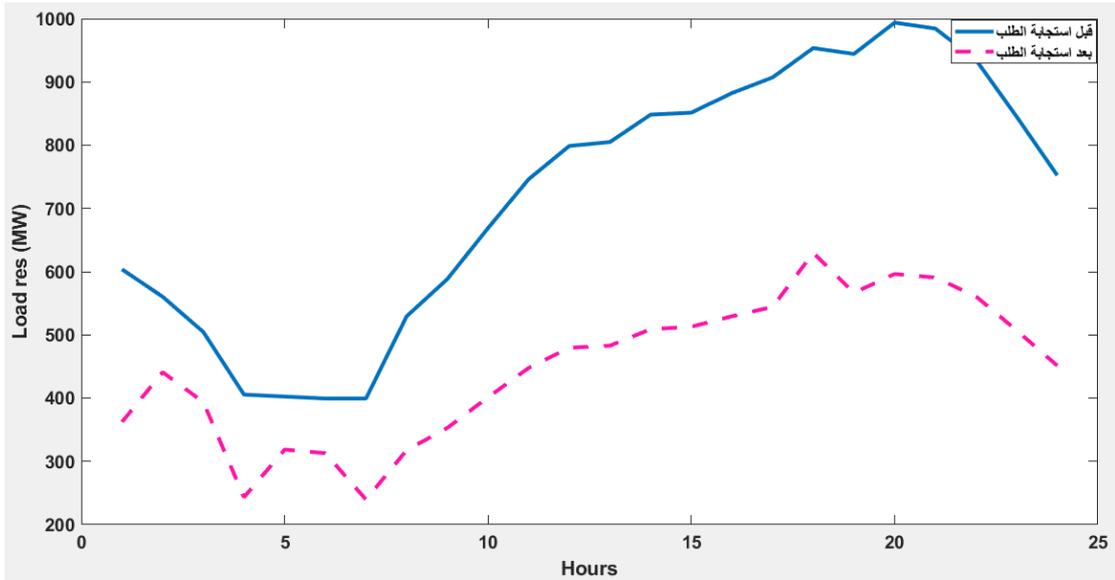
الشكل ٧ منحنى الحمل الكلي خلال ٢٤ ساعة قبل وبعد استراتيجية الاستجابة للطلب وبمشاركة الطاقة المتجددة

يشير الارتفاع في إجمالي الحمل خلال ساعات الذروة إلى أن نسبة كبيرة من ذروة الطلب قد تم تخفيضها باستخدام الاستجابة للطلب، مما أدى إلى انخفاض الذروة في نمط الطلب الجديد. ويتضح من هذا الشكل أن تنفيذ برنامج استجابة الطلب قد أدى إلى تحسن كبير في منحنى الحمل خلال ساعات الذروة. وبالمقارنة مع منحنى الحمولة بدون مشاركة الطاقة المتجددة نجد أن المنحنيين متشابهين إلى حد كبير وهذا يعني أن إدخال الطاقة المتجددة في عملية تغذية الأحمال يلبي متطلبات الحمولة بالمشاركة مع بقية الوحدات.

الحمل السكني:

نلاحظ من الشكل تحسن واضح في منحنى الحمولة للحمل السكني بتطبيق الاستجابة للطلب وبمشاركة طاقة الرياح في تغذية الأحمال.

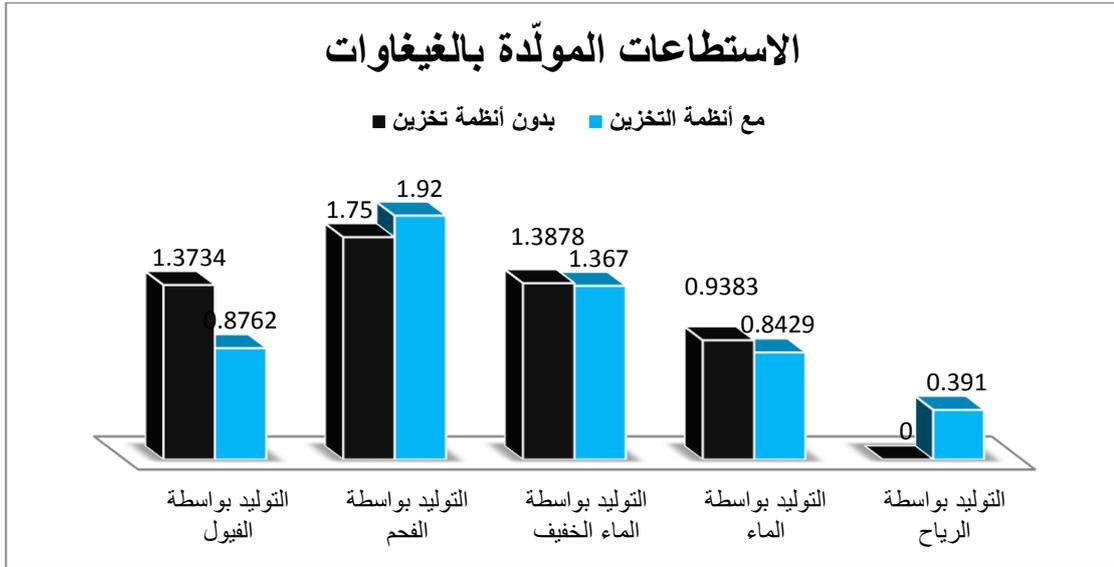
تكامل طاقة الرياح مع الشبكة واستخدام برنامج الاستجابة للطلب لتحقيق موثوقية التوليد الأمثل



الشكل 8 منحنى الحمل السكني خلال ٢٤ ساعة قبل وبعد استراتيجية الاستجابة للطلب وبمشاركة الطاقة المتجددة

جدول 2 كمية الاستطاعة المقدّمة باستخدام وحدات توليد متنوعة

التوليد	التوليد	التوليد	التوليد	التوليد	
بواسطة	بواسطة الماء	بواسطة الماء	بواسطة	بواسطة	
الرياح		الخفيف	الفحم	الفيول	
٠	٠,٩٣٨٣	١,٣٨٧٨	١,٧٥	١,٣٧٣٤	بدون أنظمة تخزين
٠,٣٩١	٠,٨٤٢٩	١,٣٦٧	١,٩٢	٠,٨٧٦٢	مع أنظمة التخزين



الشكل ٩ كمية الاستطاعة المقدّمة باستخدام وحدات توليد متنوعة

إن دمج توربينات الرياح وأنظمة تخزين الطاقة في وحدات التوليد مع الاستجابة للطلب، سينخفض التوليد بشكل كبير. بدون دمج توربينات الرياح وأنظمة تخزين الطاقة، يصل حجم الإنتاج إلى ٥٤,٥ جيجاوات. وفي حالة إضافة توربينات الرياح، وفي حال إضافة أنظمة تخزين الطاقة وتوربينات الرياح فإن كمية التوليد ستتناقص إلى ٤٩,٤ جيجاوات. أي أن التوليد سينخفض بنسبة ٩,٣%.

-بالإضافة إلى ذلك نلاحظ انخفاض كمية توليد الطاقة من محطات توليد الكهرباء بالفحم في الفترة الثانية مقارنة بالحالة الأولى بسبب مشاركة توربينات الرياح في التوليد. وحقق الطاقة في جميع ساعات اليوم. وذلك بسبب انخفاض تكاليف محطة توليد الكهرباء خارج ساعات الذروة وتخزين الطاقة الكهربائية المولدة للاستهلاك خلال ساعات الذروة عندما تكون تكاليف توليد الكهرباء مرتفعة.

التوصيات:

في الأبحاث المستقبلية، يمكن دمج مصادر الطاقة المتجددة الأخرى منخفضة التكلفة في وحدات التوليد للمساعدة في إدارة طاقة توليد الوحدات التقليدية وتقليل انبعاثات الكربون. يمكن أيضاً استخدام خوارزميات التحسين المختلفة لتحسين الاستجابة للطلب.

المراجع:

1. Datta, U, 2021– A review of key functionalities of battery energy storage system in renewable energy integrated power systems. Energy Storage 3(5), P224
2. Lai, C, 2022– Comprehensive review of the dynamic thermal rating system for sustainable electrical power systems. Energy Rep 8, P3263–3288
3. Sterjova, M, 2021– Battery energy storage systems and technologies: a review. ETIMA 1, P 95–104.
4. Jabir, H, 2018– Impacts of demand–side management on electrical power systems: a review. Energies 11, P1050.
5. Teh, J, 2018– Adequacy assessment of wind integrated generating systems incorporating demand response and battery energy storage system. Energies 11, P 2649.
6. Khoo, W, 2020– Integration of wind and demand response for optimum generation reliability, cost and carbon emission. IEEE Access 8, 183606–183618.
7. Okampo, E, 2021– Techno–economic evaluation of reverse osmosis desalination system considering emission cost and demand response. Sustain. Energy Technol. Assess. 46, 101252.

8. Bakkiyaraj, R, 2013– Optimal reliability planning for a composite electric power system based on Monte Carlo simulation using particle swarm optimization. Int. J. Electr. Power Energy Syst. 47, P 109–116.
9. Taboada, H, 2008– MOMS–GA: a multi–objective multi–state genetic algorithm for system reliability optimization design problems. IEEE Trans. Reliab. 57, 182–191.
10. Huang, W, Zhang, N, Kang, C, Li, M, Huo, M 2019– From demand response to integrated demand response: Review and prospect of research and application. Protection and Control of Modern Power Systems, 4(2), P 1–13.
11. Kirkerud, J , Nagel, N , Bolkesj, T F, 2021– The role of demand response in the future renewable northern European energy system. Energy, 235,P 121–336.
12. McPherson, M, Stoll, B, 2020– Demand response for variable renewable energy integration: A proposed approach and its impacts. Energy, 197, P 117–205.
13. Douglas G, Edward S, Alexandra A, Riccardo B, 2018–Demand Response Compensation Methodologies: Case Studies for Mexico, Clean energy.
14. Albadi, M, 2007–IEEE and E. F. El–Saadany , Senior Member, IEEE, (2007) Demand Response in Electricity Markets: An Overview, IEEE

ملحق (كود الماتلاب):

```

% % % %%% This program releas-----
clear all
clc

%%
Loadtime_res=[ 603.7150  560.3720  504.6440  405.5730
402.4770  399.3810  399.3810  529.4120  588.2350  668.7310
746.1300  798.7620  804.9540  848.2970  851.3930  882.3530
907.1210  953.5600  944.2720  993.8080  984.5200  934.9850
845.2010  752.3220];
Loadtime_in=10000*[ 0.0323  0.0323  0.0323  0.0320
0.0320  0.0317  0.1000  0.1000  0.1000  0.1000
0.1000  0.1000  0.1000  0.1000  0.10000  0.1000
0.1000  0.1000  0.1000  0.1000  0.1000  0.1000
0.1000  0.1000];
Loadtime_com=[ 0 0 0  2.5445  30.0927  60.7310  629.7480
854.2630  903.3370  955.5050  992.3100  958.2980  896.6200
893.4420  893.2810  967.0180  991.5550  991.4590  966.7470
917.3510  772.6000  513.9950  0];
Loadtime_Lu=1000*[0.1049  0.0988  0.0988  0.0988  0.0988  0.0988
0.1019  0.9938  0.9969  0.9969  1.0000  1.0  1.00
1.0  1.0000  1.00  0.9969  1.0000  1.0000  0.4969
0.4969  0.4938  0.5000  0.4969];
Loadtime_Ag=[0 0 0 0 0 21.5385 98.4615 252.3080 455.3850
621.5380 698.4620 695.3850 652.3080 673.8460 698.4620
775.3850 796.9230 692.3080 538.4620 381.5380 295.3850
147.6920 0 0];
Loadtime_Gov=[0 0 0 0 0 0 0 652.1680 652.0310 648.8030
654.8590 648.5310 648.3990 648.2670 651.2130 654.1910 0 0
0 0 0 0 0];
Loadtime_off=[0 0 0 0 0 0 0 652.1680 652.0310 648.8030
654.8590 648.5310 648.3990 648.2670 651.2130 654.1910 0 0
0 0 0 0 0];

%%----- Wind Turbine Information -----
windspeed=[13 13.5 13.6 12 11 10.5 10 9.5 9 9.2 9.1 8.8 8.5
8.2 8.1 8.8 9.5 10 12 12.2 13 13.6 13.8 14];
PR=250;%MW
Vc=8.0;
Vr=12;
Vco=14;
A=(1/(Vc-Vr)^2)*(Vc*(Vc+Vr)-4*Vc*Vr*((Vc+Vr)/(2*Vr))^3);
B=(1/(Vc-Vr)^2)*(4*(Vc+Vr)*((Vc+Vr)/(2*Vr))^3-(3*Vc+Vr));
C=(1/(Vc-Vr)^2)*(2-4*((Vc+Vr)/(2*Vr))^3);
% %%-----

%===== WindTurbine =====

```

```

Vwind=windspeed(ii);% wind speed (m/s)

if Vwind <Vc
    Pwt=0;
elseif Vc<Vwind <=Vr
    Pwt=abs (A+B*Vwind,C*Vwind.^2)*PR;
elseif Vr<Vwind <=Vco
    Pwt=PR
else
    Pwt=0;
end

figure
time=1:24;
plot(time,Loadtime_res,time,Loadtime_in,time,Loadtime_com,time
,Loadtime_Lu,time,Loadtime_Ag,time,Loadtime_Gov,time,Loadtime_
off)
xlabel('Hours')
ylabel('Load (MW)')
legend('Resedential ','Industrial','Commertial ','Large
User','Agricaulture','Government','Office')

figure
plot(TotalLoad)
hold on
plot(TotalLoad_new,'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Total Load (MW)')
legend('Before DR','After DR')

figure
plot(Loadtime_res)
hold on
plot(NewLoad_res,'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_res (MW)')
legend('Before DR','After DR')

figure
plot(Loadtime_in)
hold on
plot(NewLoad_in,'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_in (MW)')
legend('Before DR','After DR')

figure

```

```
plot(Loadtime_com)
hold on
plot(NewLoad_com, 'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_com (MW)')
legend('Before DR', 'After DR')
```

```
figure
plot(Loadtime_Lu)
hold on
plot(NewLoad_Lu, 'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_Lu (MW)')
legend('Before DR', 'After DR')
```

```
figure
plot(Loadtime_Ag)
hold on
plot(NewLoad_Ag, 'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_Ag (MW)')
legend('Before DR', 'After DR')
```

```
figure
plot(Loadtime_Gov)
hold on
plot(NewLoad_Gov, 'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_Gov (MW)')
legend('Before DR', 'After DR')
```

```
figure
plot(Loadtime_off)
hold on
plot(NewLoad_off, 'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_off (MW)')
legend('Before DR', 'After DR')
```

%-----

```
figure
plot(GenOil, 'r')
hold on
plot(GenCoal, 'b')
hold on
plot(GenLW, 'g')
hold on
plot(GenW, 'k')
hold on
```

```
plot(GenWind, 'y')

legend('GenOil', 'GenCoal', 'GenLW', 'GenW', 'GenWind')
xlabel('Hours')
ylabel('Generation(MW)')
%-----
TotalGen=[totalGenOil totalGenCoal totalGenLW totalGenW
totalGenWind]
figure
Glabel =
categorical({'GenOil', 'GenCoal', 'GenLW', 'GenW', 'GenWind'});
bar(Glabel, TotalGen)
```