

## بهره برداری مطلوب از سیستم برق با استفاده از انرژی باد همراه با مدیریت تقاضا

### چکیده:

نفوذ زیاد انرژی باد در سیستم های قدرت، باعث بروز برخی مسائل مانند رمپ کردن و عدم تناسب بین توان باد و توان درخواستی می شود. یکی از راه حل های ممکن برای این مسائل، مدیریت تقاضا (DSM) است. در این مقاله، توزیع اقتصادی پویا (DED) با استفاده از سطوح مختلف توان باد و استفاده از DSM پیشنهاد شده است تا مسائل مربوط به نفوذ بالای توان باد را حل کند. تأثیر استفاده از DSM بر هزینه عملیات همراه با تست های متفاوت مورد بحث قرار گرفته است. سیستم مدل کردن جبری (GAMS) با استفاده از BARON به عنوان حل کننده و الگوریتم ژنتیک (GA) با عملکرد ترکیبی برای حل مدل پیشنهادی DED مورد استفاده قرار می گیرد و مقایسه آن ها ارزیابی می شود. مدل پیشنهادی به یک سیستم از نسل شش واحدی برای آزمایش تاثیرگذاری مدل پیشنهادی اعمال می شود.

**کلمات کلیدی:** مدیریت سمت تقاضا. ارسال پویا اقتصادی؛ سیستم مدل سازی جبری عمومی؛ الگوریتم ژنتیک؛

انرژی باد

### 1. مقدمه

در مصر، بیشتر برق از نیروگاه های توان تولید می شود که از گاز طبیعی استفاده می کنند. دولت تصمیم گرفت افزایش تولید از انرژی های تجدید پذیر را، مانند انرژی باد، تا سال 2020 به 20٪ برساند. انرژی باد دارای مزایایی فراوان است که از جمله به تمیز بودن و کم هزینه بودن آن اشاره می شود، با این حال معایبی نیز دارد مثلاً باد در

طبیعت متناوب است و ممکن است در جایی قطع بشود. به عنوان یک نتیجه از نفوذ بالای باد، برخی از مسائل باید به طور گسترده مورد مطالعه قرار گیرد که به شرح زیر است:

- تمرکز جامع بر برنامه ریزی سیستم و پیش بینی بار.
  - همبستگی نامناسب بین قدرت باد و بار (مسئله متعادل کننده قدرت).
  - الزامات خدمات اضافی مانند نرخ های سریعتر تغییر منابع.
  - مسائل مربوط به کیفیت برق مانند تغییرات ولتاژ، نوسانات ولتاژ و هارمونیک.
- برای حل این مسائل، سیستم‌توان الکتریکی نیاز به انعطاف بیشتری دارد تا به نوسانات لحظه ای در هر دو نوع بار و تولید تجدید پذیر پاسخ دهد [1]. این مقاله بر دو مسئله از لیست فوق تمرکز دارد که مسئله متعادل سازی قدرت و مسئله نرخ تغییر سریع است.

ذخیره سازی انرژی و مدیریت سمت تقاضا (DSM) یا پاسخ تقاضا (DR) منابع انعطاف پذیر رایج هستند که سازگاری با قدرت باد را نشان می دهند. همه آنها به عنوان منابع موثر برای ادغام قدرت باد شناخته شده اند؛ با این حال، تجربه در انجام این کار محدود است.

ذخیره انرژی و DR در حال حاضر پاسخ منطقی سریعی در تغییر یا قطع بار به دلیل ویژگی های انعطاف پذیر خود نشان می دهد. ذخیره انرژی و DR به طور کاملاً گسترده در سیستم قدرت نصب نشده اند (به استثنای ذخیره سازی آبی پمپ) و نیازمند توجه بیشتر به اهمیت آنها در نصب به صورت گسترده در سیستم های قدرت هستند [2]. سیستم پیشنهاد شده در [3]، به عنوان یک مثال از استفاده از یک سیستم ذخیره سازی برای کاهش تغییرات باد است. در آن یک سیستم یکنواخت کردن انرژی باد که از یک الگوریتم بهینه سازی برای کاهش تغییرات انرژی باد استفاده می شود معرفی شده است. در [4] استراتژی توزیع پیشنهاد شده است که اجازه می دهد تا ظرفیت باتری تعیین شود تا طول عمر خدمات بر واحد هزینه حداکثر شود. علاوه بر این، نشان می دهد که چگونه می توان زمانبندی توان خروجی مزرعه باد کوتاه مدت را که میزانتوان مطمئن و مشخصی تحویل می دهد به دست آورد.

تحقیقات زیادی وجود دارد که DSM را برای اهداف مختلف مانند ارزیابی اقتصادی (DR) از طریقیک مدل ریاضیاستفاده می کند [5]. هدف این است که ارزش منصفانه DR را در کاهش اثرات متناوب انرژی باد پیداشود. در [6]، DSM از طریق دو گزینه ی پیک بریده شده بار و تغییر تقاضا در یک مسئله واحد مورد استفاده قرار می گیرد، تا تاثیر نفوذ بالای باد بر عملکرد و صرفه جویی در هزینه استفاده از DR بررسی شود. یک شبکه روزانه از فرمول بندی پاکسازی بازار با توجه به DR در [7] پیشنهاد شده است. نتیجه گیری می شود که این مدل می تواند انعطاف پذیری را در مشخصات بار وارد کند؛ وابستگی کمتر به تغییرات بالا و پایین سرویس ها توسط ژنراتورهای معمولی و افزایش نفوذ انرژی باد ایجاد می شود. در [8] یک مدل توزیع اقتصادی پویا (DED) با داشتن ژنراتور حرارتی و باد پیشنهاد شده است. در این مدل، متغیرهای تصادفی با توزیع نرمال برای خطاهای پیش بینی بار و سرعت باد در نظر گرفته شده اند. مدل DED اطلاعات ارزشمندی را برای عملکرد قابل اعتماد، ایمن و اقتصادی سیستم های قدرت فراهم می آورد. در [9]، از موتورهای زیست دیزلی برای جبران انرژی متناوب بادی و حل مسئله سرعت رمپ با انرژی باد استفاده می شود. در صورت نفوذ بالای باد برای کاهش هزینه های توزیع مجدد و لغو وقایع بار از ارزش در لحظه (RTP) استفاده شده است [10،11]. علاوه بر این، نتایج نشان می دهد که نگه داشتن باد و RTP در بازار می تواند منجر به افزایش سود مازاد شود که موجب افزایش تقاضایتوان برای پاسخگویی به دسترس پذیری منابع واقعی باد می شود. تقاضای توزیع و پیش بینی احتمالات انرژی باد برای افزایش بهره برداری از بازار توان با استفاده از نفوذ بالای قدرت باد [12] استفاده می شود. یک مدل بهینه سازی تصادفی برای برنامه ریزی روزانه در سیستم های قدرت، با DR ساعتی برای مدیریت منابع انرژی تجدید پذیر، در [13] معرفی شده است. تجزیه و تحلیل تأثیر DSM با هدف ادغام منابع متناوب رو به رشد در پرتغال، در [14] مورد بحث قرار گرفته است. در این مقاله، راه حل برای برخی از مسائل مربوط به نفوذ بالا انرژی باد مانند مشکلات متعادل کننده بار و مشکلات رمپینگ مورد بحث قرار گرفته است، نشان دهنده اهمیت استفاده از DSM برای حل این مسائل و پیامدهای آن برای استفاده نکردن از آن است. مدل DED با استفاده از نفوذ مختلف سطوح انرژی باد، اعمال می شود و تغییر بار با استفاده از DSM برای حل مسائل مربوط به نفوذ زیاد انرژی باد انجام می شود. مقایسه بین موارد مختلف با استفاده

از DSM برای تغییر بارهای قابل تغییر و بدون استفاده از DSM نشان داده شده است. پروفیل های مختلف بار مانند بارهای تابستانی و زمستانی مورد توجه قرار گرفته اند و در نهایت سطح مشارکت مختلف از مصرف کنندگان و تاثیرات آنها بر نتایج نیز مورد توجه بوده است. GA با عملکرد ترکیبی و GAMS با استفاده از BARON به عنوان حل کننده به عنوان تکنیک های بهینه سازی برای حل مشکل DED با سناریوهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. این نشان می دهد که هر دو تقریباً همان نتایج را ارائه می دهند، اما GAMS سریع تر از GA است، بنابراین GAMS برای حل مدل DED انتخاب خواهد شد.

توضیحات کامل در مورد اعمال مدیریت اقتصادی پویا و رویکرد مدیریت تقاضا در بخش 2 معرفی شده است، مطالعه موردی بر اساس یک سیستم شامل شش ژنراتور حرارتی و یک مزرعه باد به طور کامل در بخش 3 شرح داده شده است، بحث در مورد نتایج در بخش 4 ارائه شده است و در نهایت در بخش 5 به نتیجه می رسد.

## 2. روش های مدل کردن

### 2.1 توزیع اقتصادی پویا

عملکرد بهینه از شبکه هایتوان الکتریکی مشکل مهندسی چالش برانگیز در دنیای واقعی است. توزیع اقتصادی پویا (DED) دارای جایگاه برجسته ای در عملکرد و کنترل سیستم های توان است. هدف DED تعیین خروجی های بهینه توان واحد های تولید آنلاین، به منظور پاسخگویی به تقاضایبار در محدودیت های عملیاتی مختلف در دوره های محدود است. DED محدودیتهای اضافی عملیاتی مانند مرزهای بالا و پایین در نرخ رمپینگ واحد را در نظر میگیرد. در واقع، واحدها پاسخگوی تغییرات لحظه ای یا شیدار بار نیستند.

در مسئله بهینه سازی پیشنهادی DED هزینه عملیات از طریق روز به همان اندازه که در معادله (1) داده شده است، کمینه می شود و در معرض محدودیت های مختلف که به شرح زیر است قرار دارد: تعادل بار همانطور که در معادله داده شده. (2) که در آن قدرت باد می تواند به عنوان هر مقدار بین صفر و حداکثر قدرت باد پیش بینی شده

همانند معادله (3) استفاده شود. مقدار تلفات همانطور که در معادله داده شده است. (4)، حداکثر ظرفیت تولید همانند معادله (5) و محدودیت های بالا و پایین تغییرات در معادلات (6) و (7) داده شده است. [15].  
مینیمم کردن:

$$C_{op} = \sum_{t=1}^T \sum_{g=1}^G C_{gt}(P_{gt}) = \sum_{t=1}^T \sum_{g=1}^G a_g + b_g P_{gt} + c_g P_{gt}^2 \quad (1)$$

جایی که  $C_{op}$  هزینه کل عملیات است،  $C_{gt}$  تابع هزینه ژنراتور حرارتی  $gth$  در طول بازه  $t$  است،  $P_{gt}$  قدرت واقعی تولید شده توسط ژنراتور  $gth$  در طول  $t$  فاصله،  $a_g$ ،  $b_g$ ،  $c_g$  ضریب هزینه ژنراتور  $gth$ ،  $T$  تعداد دفعات توزیع در دوره ارسال و  $G$  تعداد کل ژنراتورهای حرارتی است.

$$\sum_{g=1}^G P_{gt} = P_{dem,t} - W_{P,t} + P_{Loss,t} \quad (2)$$

$$0 \leq W_{P,t} \leq W_{F,t} \quad (3)$$

که  $P_{dem,t}$  بار کل درخواستی بدون استفاده از DSM در طول فاصله  $t$  می باشد،  $W_{P,t}$  توان باد است که می تواند در طول  $t$  فاصله استفاده شود؛  $W_{F,t}$  توان تولیدی پیش بینی شده توسط مزرعه باد در طول فاصله  $t$  است و  $P_{Loss,t}$  تلفات سیستم انتقال در طول فاصله  $t$  است.

$$P_{Loss,t} = \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^G P_{gt} B_{gj} P_{jt} \quad (4)$$

که  $P_{gt}$ ،  $P_{jt}$  تزریق توان حقیقی در باس های  $gth$  و  $jth$  در زمان  $(t=1,2,\dots,T)$  است و  $B_{gj}$  ضریب تلفات است.

$$P_{g,\min} \leq P_{gt} \leq P_{g,\max} \quad (5)$$

که  $P_{g,\min}$  و  $P_{g,\max}$  حداکثر و حداقل توان است که می تواند به وسیله مولد  $gth$  تولید شود.

$$P_{gt} - P_{g(t-1)} \leq UR_{g,\max} \quad (6)$$

$$P_{g(t-1)} - P_{gt} \leq DR_{g,\max} \quad (7)$$

که  $UR_{g,max}$  و  $DR_{g,max}$  حداکثر حد مجاز سرعت بالا و پایین از ژنراتور  $g^{th}$  به ترتیب،  $t = 2, 3, \dots, T$  و  $G = 1, 2, \dots, G$

## 2.2 مدیریت سمت تقاضا

تقریباً تمام برنامه های DSM از خدمات عمومی انگیزه می گیرند. DSM مبتنی بر بهره گیری، برنامه ریزی، پیاده سازی و نظارت بر فعالیت هایی است که مشتریان را تشویق می کند تا سطح و الگوی استفاده از برق خود را تطبیق دهند به طوری که مشخصات بار توسط شرکت ابزار تغییر مییابد، بنابراین می تواند توان را به طور مطلوب تولید کند. 6 مدل شکل بار که هدف برنامه DSM است در شکل 1 نشان داده شده است که عبارتند از: برش پیک، پر شدن دره و بارگذاری به عنوان سطح پایه و سطح پیشرفته مانند حفاظت استراتژیک، رشد بار استراتژیک و شکل بار انعطاف پذیر [16].

اعمال یکیا چند برنامه DSM مانند زمان استفاده (TOU) می تواند به عنوان یک برنامه برای دستیابی به هدف تغییر بار از طریق ارائه قیمت بالا در دوره های اوج و قیمت پایین در دوره های غیر اوج استفاده شود [16]. این تغییر در بارها شامل تغییرات در مدل DED به عنوان بخشی از تقاضا است که با توجه به سطح مشارکت و تعداد وسایل قابل شارژ، تغییر می کند و مشخص می شود. تقاضای جدید تقاضای مرجع خواهد شد و به تقاضای رو به بالا افزوده و تقاضای رو به پایین را از آن تقلیل می دهد همانطور که در معادله نشان داده شده است. (8).

$$P_{demnew,t} = \sum_{l=1}^L P_{dem,lt} + \sum_{e=1}^E P_{demup,et} - \sum_{e=1}^E P_{demdown,et} \quad (8)$$

که  $P_{demnew,t}$  تقاضای کل بار با DSM در فاصله  $t$  است (بعد از برنامه DSM برای تغییر برخی از بارهای قابل تغییر)؛  $P_{dem}$ ؛ که تقاضا از هر بار به صورت جداگانه است،  $P_{demup,ET}$  تغییر تقاضای رو به بالا بار  $e$  در طول  $t$  فاصله است،  $P_{demdown,et}$  تغییر تقاضای رو به پایین بار و در طول  $t$  فاصله است،  $L$  تعداد کل بارها و  $E$  تعداد

کل بارهای قابل شارژ است. بعضی محدودیت ها برای افزایش و کاهش تقاضا برای هر بار به صورت جداگانه، اما نه برای همه بارها، پیدا می شود، زیرا برخی از آنها به صورت زیر قابل تغییر نیستند:

1. با توجه به برنامه پیشنهادی DSM برای تغییر بارهای قابل تغییر، افزایش و کاهش تقاضا باید از طریق روز متعادل شود، همانطور که در معادله نشان داده شده است. (9).

2. سطح مشارکت مشتریان، با توجه به تعداد زیادی از مطالعات قبلی، نه همه مشتریان در برنامه DSM شرکت خواهند کرد، بنابراین محدودیت برای افزایشها کاهش بار در هر ساعت وجود دارد، همانطور که در اشکال نشان داده شده است. (10) و (11).

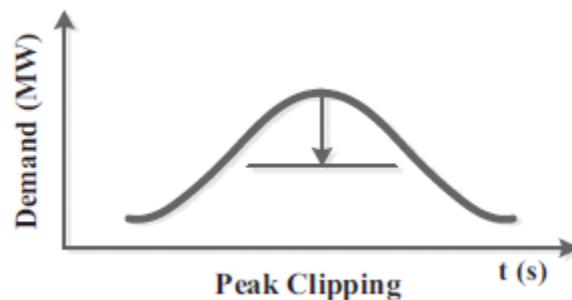
$$\sum_{t=1}^T P_{demup,et} = \sum_{t=1}^T P_{demdown,et} \quad (9)$$

$$0 \leq P_{demup,et} \leq \alpha_{up,e} \quad (10)$$

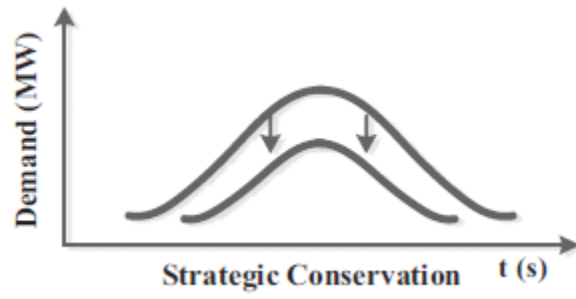
$$0 \leq P_{demdown,et} \leq \alpha_{down,e} \quad (11)$$

که حداکثر مجاز بالا و پایین تغییر در تقاضای بار و به ترتیب (1, 2, ..., E) است.

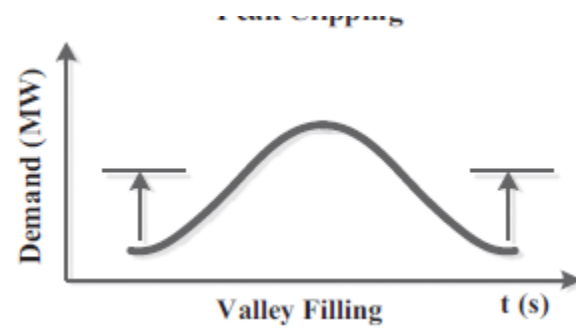
بنابراین، از طریق تقاضای جدید مورد نیاز که خروجی روش ما است، تعرفه نرخ TOU باید با دقت طراحی شود تا مشتریان را تشویق به پیروی از همان مشخصات نماید. پس از اضافه کردن محدودیت های DSM به مشکل DED، تقاضای قدیمی داده شده در معادله (2) به صورت داده شده در معادله (12) تغییر خواهد کرد.



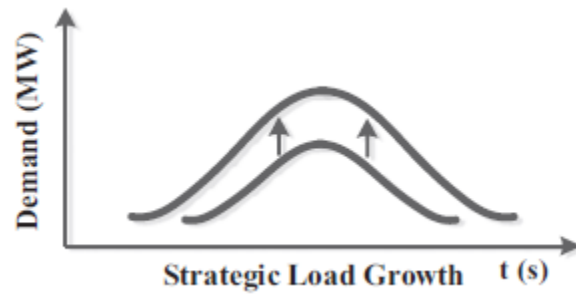
شکل 1 برش پیک



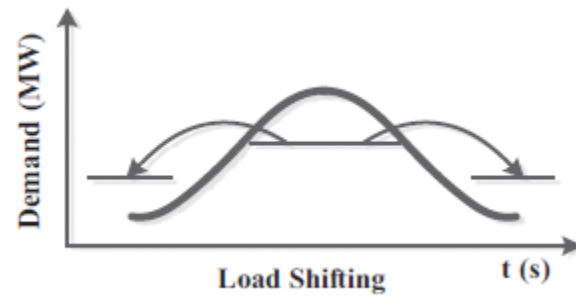
شکل 2 محافظت استراتژیک



شکل 3 پر کردن دره ها

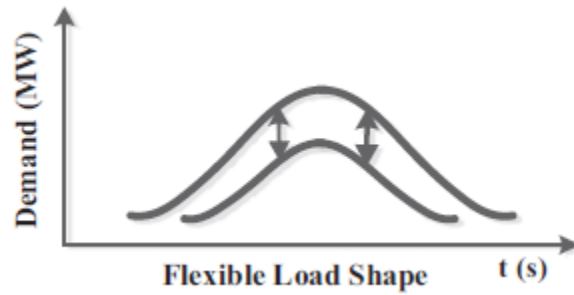


شکل 4 رشد بار استراتژیک



شکل 5 شیفت بار





شکل 6 شکل انعطاف پذیر بار

$$\sum_{g=1}^G P_{gt} = P_{demnew,t} - W_{P,t} + P_{Loss,t} \quad (12)$$

که  $t=1,2,\dots,T$

### 3. موارد مطالعه شده

مطالعات موردی به طور گسترده ای در یک سیستم شامل 6 ژنراتور حرارتی و یک مزرعه باد انجام می شود. جزئیات ژنراتور برای سیستم تست شش واحد در جدول 1 آمده است [17]. شکل 2 داده های توان مزرعه باد را در یک روز به عنوان 10٪ از کتل تولید (1 p.u.) نشان می دهد. در مطالعه موردی، دو سطح نفوذ 10٪ و 20٪ مورد مطالعه قرار گرفته است. برای DSM، سه سطح مختلف مشارکت در نظر گرفته شده شامل 5٪، 10٪ و 15٪ سطح مشارکت است. سطح مشارکت اطلاعات مربوط به درصد مورد انتظار شرکت کنندگان در برنامه DSM را فراهم می کند، بنابراین 15٪ به این معنی است که 15٪ کل بار در برنامه DSM شرکت می کنند.

جدول 1 ضرایب هزینه و محدودیت های ژنراتورها

**Table 1** Generators' limits and cost coefficients.

Generator $g$	Generator limit		Cost coefficients		
	$P_{g,min}$ (p.u.* )	$P_{g,max}$ (p.u.)	$a_g$ (\$/h)	$b_g$ (\$/MW h)	$c_g$ (\$/ $(MW)^2$ h)
1	0.5	1.5	10	200	100
2	0.5	1.5	10	150	120
3	0.5	1.5	20	180	40
4	0.5	1.5	10	100	60
5	0.5	1.5	20	180	40
6	0.5	1.5	10	150	100

\* The base of the per unit (p.u.) system is 100 MVA.

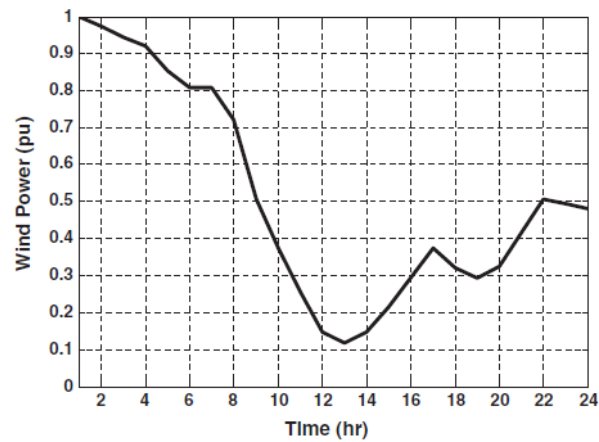


Figure 2 Wind power in a day.

شکل 7 توان باد در یک روز

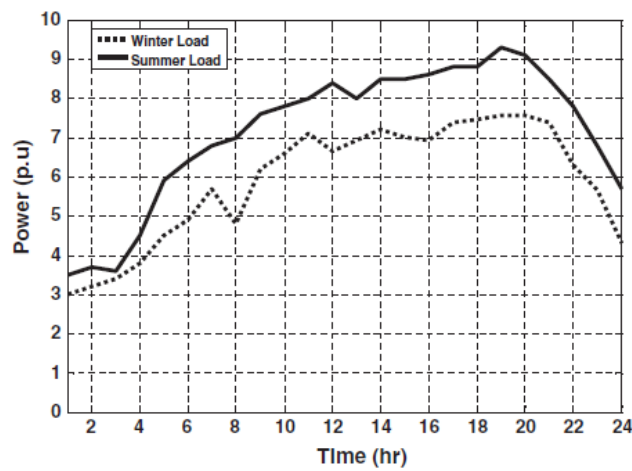


Figure 3 Total daily load in summer and winter.

شکل 8 بار روزانه کل در تابستان و زمستان

## جدول 2 هزینه عملیات 10٪ نفوذ باد و بار زمستان

**Table 2** Cost of operation of 10% penetration of wind and winter load.

Participation level/scenario (%)	Load without DSM (\$)	Load with DSM (\$)	Ramping in wind without DSM (\$)	Ramping in wind with DSM (\$)
5	32171.013	31896.411	32272.316	31992.040
10	32171.013	31668.192	32272.316	31739.948
15	32171.013	31463.072	32272.316	31507.602

شکل 3 اطلاعات مربوط به کل بار در زمستان و تابستان را نشان می دهد. این کل بار شامل بارهای مسکونی، تجاری و صنعتی می شود. این مقاله فرض می کند که فقط بارهای مسکونی در برنامه DSM شرکت کنند. درصد بارهای مسکونی همانند مصر در محدوده 50 درصد کل بار است، [18]. بار مسکونی شامل بارهای جداگانه مانند ماشین لباسشویی، ماشین ظرفشویی، یخچال و فریزر، فریزر، بخاری آب، پمپ آب، اجاق گاز، نورپردازی و سایر لوازم خانگی است. بارهای تهویه مطبوع در تابستان اضافه خواهد شد.

برنامه DSM تنها از بارهای متحرک از بخش مسکونی مانند ماشین های شستشو، ماشین های ظرفشویی، آبگرمکن ها و تهویه مطبوع استفاده می کند تا تغییرات لازم را در کل بار بر اساس سطح مشارکت انجام دهد.

## 4. نتایج و بحث

تعدادی از سناریوها مانند تغییر سطح مشارکت مصرف کنندگان و سطح نفوذ باد برای پروفیل های مختلف بارگیری در فصل زمستان و تابستان با استفاده از DSM اعمال می شود تا برخی از مسائل مربوط به نفوذ بالا انرژی های باد به طور خاص رمپ که در زمان کاهش بار و افزایش باد و یا بالعکس رخ می دهد و یا عدم انطباق بین قدرت باد بالا و پیک بار را حل کند.

سناریوهای مختلفی مورد توجه بوده است. جداول 2-5 خروجی راه حل های DED را در موارد مختلف ارائه می دهد. نرم افزار GAMS با استفاده از BARON به عنوان الگوریتم حل کننده و ژنتیکی با عملکرد ترکیبی

(fmincon) برای حل مشکل DED مورد استفاده قرار می گیرد. نتایج نشان میدهد که استفاده از GA با fmincon نتایج تقریبا معمولی مانند GAMS را ارائه می دهد اما براین نتیجه بهینه نیاز به تکرار دارد و همچنین زمان بیشتری را نسبت به استفاده از GAMS اتخاذ می کند. به عنوان مثال، در صورت بارگیری تابستان با DSM و سطح مشارکت 15٪، زمان انجام 5GAMS ثانیه است، در حالی که GA با عملکرد ترکیبی 15 دقیقه برای هر تکرار طول می کشد و در بعضی موارد بیش از یک تکرار برای رسیدن به مقدار بهینه لازم است (پردازنده هسته i5 و RAM 4 مگابایت است).

همانطور که در جدول 2 (نتایج 10٪ نفوذ باد در یک روز در زمستان) به وضوح نشان داده شده است، بدون استفاده از DSM، راه حل مشکل DED مقداری ثابت برای هزینه عملیاتی دهد که برابر \$ 32171.013 صرف نظر از سطح مشارکت است، زیرا وجود دارد هیچ برنامه DSM وجود ندارد. با این حال، هنگام استفاده از برنامه DSM برای تغییر برخی از بارهای قابل تغییر، هزینه بر اساس سطح مشارکت متفاوت است، بنابراین وقتی سطح مشارکت افزایش مییابد هزینه عملیات کاهش مییابد. در مورد زمانی که باد موجب افزایش رمپ بالا یا پایین می شود که بیش از حد نرخ رمپ ژنراتورهای حرارتی می شود، انرژی باد استفاده شده کمتر از حالت بدون رمپ است که به وضوح در شکل نشان داده شده است. شکل های 4 و 5، بنابراین کل هزینه عملیات در صورت وجود رمپ بالا می رود. استفاده از DSM انعطاف پذیری بیشتری را طریق افزایش درصد بهره برداری از انرژی باد به سیستم اضافه خواهد کرد، که به وضوح در شکل 4 نشان داده شده است، با توجه به این که کل هزینه عملیات قطعا کاهش خواهد یافت و کمترین هزینه عملیاتی برای 15٪ سطح مشارکت است.

جدول 3 (نتایج حاصل از نفوذ 10٪ نفوذ باد در یک روز در تابستان) به وضوح نشان میدهد که بار پیک بالا با مقدار بالای انرژی باد مطابقت ندارد. واضح است که بدون استفاده از DSM و یا تخلیه بار، مشکل حل نخواهد شد، زیرا توان بالای باد در زمان غیر از پیک میباشد. به این ترتیب، دو راه حل برای حل این مشکل وجود دارد: از بین رفتن بار یا DSM. اما استفاده از تخلیه بار بر کیفیت خدمات و سطح رضایت مشتری تأثیر می گذارد. با این حال با استفاده از DSM این مسئله بسته به سطح مشارکت حل خواهد شد. همانطور که در جدول 3 نشان داده شده است

سلول به نام " بار با DSM"، سیستم نیاز به بیش از 10٪ سطح مشارکت برای حل اختلاف بین بار حداکثر و اوج توان باد دارد. همچنین از شکل 6 روشن است که با افزایش سطح مشارکت درصد بهره برداری از انرژی باد افزایش مییابد. جداول 4 و 5 نتایج استفاده از سطح نفوذ 20 درصد انرژی باد را نشان می دهد. واضح است که هزینه عملیات کمتر از سطح نفوذ 10٪ است. نشان داده شده است که سیستم هنوز با مشکل عدم هماهنگی بین حداکثر بار و حداکثر توان باد مواجه است. با این حال روشن است که مسئله رمپینگ در هنگام استفاده از سطح بالای نفوذ باد موثر خواهد بود. به عنوان مثال، درصد بهره برداری از انرژی باد کمتر از مواردی است که در انرژی باد تغییری وجود ندارد، همانطور که در شکل نشان داده شده است. 4 و 5. شکل. 6 و 7 به وضوح نشان می دهد که با افزایش سطح نفوذ انرژی باد، درصد استفاده از انرژی باد کاهش مییابد اما با استفاده از DSM درصد استفاده از انرژی باد افزایش مییابد.

به طور کلی، تمام نتایج جدول اطمینان می دهد که درصد بهره برداری از انرژی باد در مشکل DED به شدت تحت تاثیر استفاده از برنامه DSM قرار دارد و در بعضی موارد راه حل هایی بدون استفاده از DSM وجود ندارد، زیرا اختلاف بزرگی بین بار باد و بار پیک در مورد تابستان با سطح نفوذ 10٪ باد وجود دارد. افزونبراین، اگر در بعضی موارد دیگر رمپ بیش از مقادیر قابل قبول ژنراتور حرارتی باشد، انرژی باد محدود شده افزایشیابد؛ با این حال با استفاده از DSM با سطح نفوذ بالا می توان مسائل مربوط به عدم انطباق انرژی و یا مسائل رمپ را کنترل کرد.

### جدول 3 هزینه عملیات 10٪ نفوذ باد و بار تابستان

Table 3 Cost of operation of 10% penetration of wind and summer load.

Participation level/scenario (%)	Load without DSM and with 5% load shedding (\$)	Load with DSM	Ramping in wind without DSM (with 5% load shedding) (\$)	Ramping in wind with DSM
5	42503.237	–	42791.979	–
10	42503.237	–	42791.979	–
15	42503.237	41714.896\$	42791.979	41931.426\$

(–) means no solution for the DED problem.

جدول 4 هزینه عملیات 20٪ نفوذ باد و بار زمستان

Table 4 Cost of operation of 20% penetration of wind and winter load.

Participation level/scenario (%)	Load without DSM (\$)	Load with DSM (\$)	Ramping in wind without DSM (\$)	Ramping in wind with DSM (\$)
5	29857.568	29572.107	30039.566	29744.310
10	29857.568	29305.721	30039.566	29472.395
15	29857.568	29064.156	30039.566	29223.213

جدول 5 هزینه عملیات 20٪ نفوذ باد و بار تابستان

Table 5 Cost of operation of 20% penetration of wind and summer load.

Participation level/scenario (%)	Load without DSM and with 2.5% load shedding (\$)	Load with DSM (\$)	Ramping in wind without DSM (with 2.5% load shedding) (\$)	Ramping in wind with DSM (\$)
5	39578.484	39190.264	40012.610	39602.177
10	39578.484	38694.426	40012.610	39098.039
15	39578.484	38266.155	40012.610	38666.081

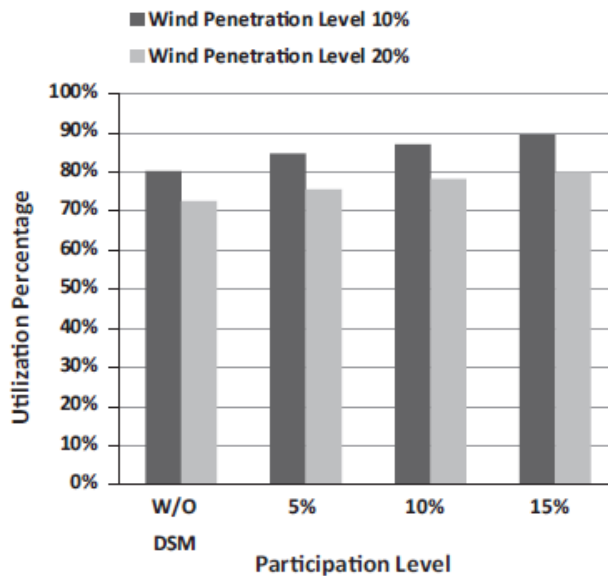


Figure 4 The percentage of utilized wind energy versus participation level in case of winter load.

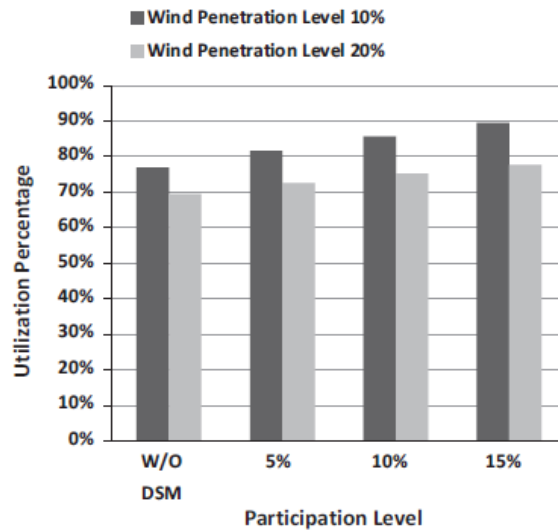


Figure 5 The percentage of utilized wind energy versus participation level in case of winter load and ramping issue in wind power.

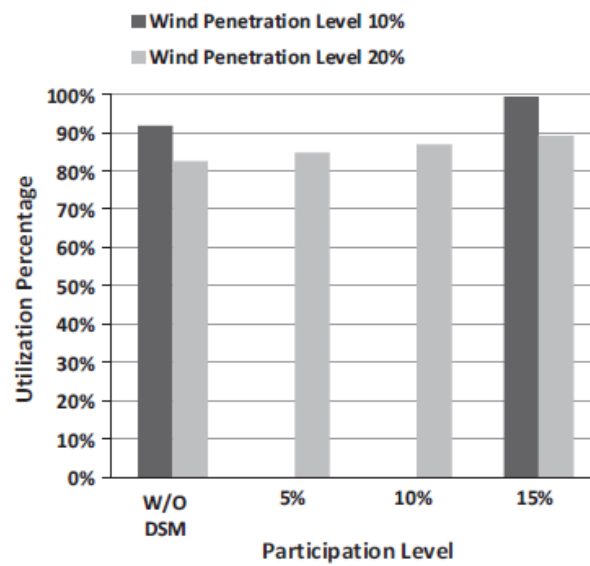


Figure 6 The percentage of utilized wind energy versus participation level in case of summer load.

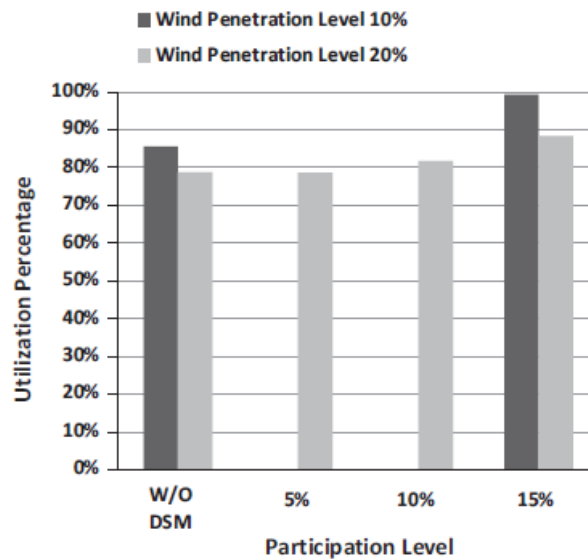


Figure 7 The percentage of utilized wind energy versus participation level in case of summer load and ramping issue in wind power.

## 5. نتایج

پیوستن نفوذ بالا انرژی باد به سیستم قدرت با مشکلاتی، مانند همبستگی بدبینانه بین پروفیل انرژی باد و بار، و مسئله رمپینگمواجه است. بر این اساس، این مشکلات می تواند تا حد زیادی با قصد افزایش نفوذ انرژی باد مخالفت کند. در همین حال، به منظور افزایش نفوذ انرژی باد، سیستم‌توان نیاز به انعطاف پذیری دارد تا بتواند این نفوذ را بالا ببرد.

استفاده از DSM از طریقیک مشکل DED به عنوان یک منبع انعطاف پذیر برای حل مسائل ناشی از نفوذ زیاد انرژی باد مورد مطالعه قرار گرفته است. آزمایشات جامع بر روی سیستم شش ژنراتور به عنوان یک سیستم تست برای تأیید اهمیت استفاده از DSM انجام شده است. علاوه بر این، تأثیر سطوح مختلف نفوذ انرژی باد، به طور گسترده مورد بحث و بررسی قرار گرفته و نتایج نشان می دهد که مسئله رمپینگ و عدم انطباق انرژی تأثیر زیادی در افزایش نفوذ باد دارند. نتایج به دست آمده نشان می دهد که ترکیب DSM انعطاف پذیری بیشتریاز طریق تغییر بار بارهای قابل تغییر از زمان اوج تا زمان پائین ترین مقدار در سیستم‌توان اضافه می کند که منجر به مشخصات



باری می شود که نزدیکه مشخصات انرژی باد است و انرژی باد، افزایش درصد استفاده از انرژی باد و کاهش کل هزینه عملیات را نتیجه می دهد.

لازم به ذکر است که سطوح مشارکت مختلف نیز برای هر سطح نفوذ انرژی باد مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که اثرات خوب افزایش سطح مشارکت باعث کاهش هزینه کل عملیات، افزایش درصد بهره برداری از انرژی باد و کاهش اثرات مربوط به نفوذ زیاد انرژی باد می شود. نتایج همچنین نشان می دهد که نفوذ زیاد انرژی باد هزینه عملیات را کاهش می دهد.

در این مقاله، برنامه DSM فقط بارهای مسکونی را هدف قرار می دهد، بنابراین در بعضی موارد، انعطاف پذیری اضافه شده به سیستم به اندازه کافی بالا نیست تا همه مسائل مربوط به استفاده از انرژی باد را حل کند، بنابراین از ترکیب سایر بخش های بار مانند صنعتی و تجاری انتظار می رود که انعطاف پذیری بیشتری نسبت به سیستم توان داشته باشند.

GAMS با استفاده از BARON به عنوان یک حل کننده و GA با عملکرد ترکیبی برای حل مشکل DED برای سناریوهای مختلف استفاده می شود و نتایج نشان می دهد که هر دو آنها نتایج مشابهی دارند، اما GAMS سریعتر است و نیازی به تکرار مانند GA ندارد.

### References

- [1] Gupta Samir. Dispatch of bulk energy storage in power systems with wind generation. MSc Thesis. Arizona State University; April 2012.
- [2] Tuohy Aidan, Kaun Ben, Entriken Robert. Storage and demand-side options for integrating wind power. WIREs Energy Environ 2014(3):93-109.
- [3] Arya Vijay, Dutta Partha, Kalyanaraman Shivkumar. On mitigating wind energy variability with storage. In: Proceedings of IEEE fifth international conference on communication systems and networks (COMSNETS); 2013. p. 1-9.

- [4] Li Q, Choi SS, Yuan Y, Yao DL. On the determination of battery energy storage capacity and short-term power dispatch of a wind farm. *IEEE Trans Sust Energy* 2011;2(2):148–58.
- [5] Saebi J, Javidi MH. Economic evaluation of demand response in power systems with high wind power penetration. *J Renew Sust Energy* 2014;6:033141.
- [6] Dietrich Kristin, Latorre Jesus M, Olmos Luis, Ramos Andres. Demand response in an isolated system with high wind integration. *IEEE Trans Power Syst* 2012;27(1):20–9.
- [7] Yousefi Ashkan, Iu Herbert Ho-Ching, Fernando Tyrone, Trinh Hieu. An approach for wind power integration using demand side resources. *IEEE Trans Sust Energy* 2013;4(4):917–24.
- [8] Zhou Wei, Peng Yu, Sun Hui. Optimal wind–thermal coordination dispatch based on risk reserve constraints. *Euro Trans Electr Power* 2011;21:740–56.
- [9] Warsono DJ, Özveren King CS, Bradley DA. Economic load dispatch optimization of renewable energy in power system using genetic algorithm. In: *Proceedings of IEEE power tech, Lausanne; 2007*. p. 2174–9.
- [10] Sioshansi Ramteen. Evaluating the impacts of real-time pricing on the cost and value of wind generation. *IEEE Trans Power Syst* 2010;25(2):741–8.
- [11] Sioshansi Ramteen, Short Walter. Evaluating the impacts of real-time pricing on the usage of wind generation. *IEEE Trans Power Syst* 2009;24(2):516–24.
- [12] Botterud Audun, Zhou Zhi, Wang Jianhui, Sumaili Jean, Keko Hrvoje, Mendes Joana, Bessa Ricardo J, Miranda Vladimiro. Demand dispatch and probabilistic wind power forecasting in unit commitment and economic dispatch: a case study of Illinois. *IEEE Trans Sust Energy* 2011;4(1):250–61.
- [13] Wu Hongyu, Shahidehpour Mohammad, Al-Abdulwahab Ahmed. Hourly demand response in day-ahead scheduling for managing the variability of renewable energy. *IET Gener Transm Distrib* 2013;7(3):226–34.
- [14] Moura Pedro S, de Almeida Anibal T. The role of demand-side management in the grid integration of wind power. *Appl Energy* 2010;87:2581–8.
- [15] Xia X, Elaiw AM. Optimal dynamic economic dispatch of generation: a review. *Electric Power Syst Res* 2010;80:975–86.
- [16] Hong Jun, BEng, MEng. The development, implementation, and application of demand side management and control (DSM + c) algorithm for integrating microgeneration system within built environment. PhD Thesis. University of Strathclyde; March 2009.
- [17] Liu Xian, Xu Wilsun. Economic load dispatch constrained by wind power availability: a here-and-now approach. *IEEE Trans Sust Energy* 2010;1(1):2–9.
- [18] Attia Shady, Evrard Arnaud, Gratia Elisabeth. Development of benchmark models for the Egyptian residential buildings sector. *Appl Energy* 2012;94:270–84.