

## بررسی اثر تولیدات پراکنده بر تلفات و THD شبکه زنجان بوسیله نرم افزار Digsilent

مجید مرادلو

دانشجوی کارشناسی ارشد برق - قدرت دانشگاه صنعتی اصفهان

E-mail: [m\\_moradlo@ec.iut.ac.ir](mailto:m_moradlo@ec.iut.ac.ir)

چکیده - با توجه به نیاز روز افزون به تولید برق و نصب نیروگاهها و نیز وقت زیادی که صرف احداث نیروگاههای بزرگ می شود ، لزوم استفاده از تولیدات پراکنده یا DG ( Distributed Generation ) که در اندازه کوچک و نزدیک به محل مصرف کننده هستند ، بیشتر نمایان می شود . در این مقاله ، با انتخاب شبکه فوق توزیع و قسمتی از شبکه توزیع استان زنجان ، سعی شده است که اثر این تولیدات کوچک و پراکنده ، بر تلفات و THD ( Total Harmonic Distortion ) این شبکه بررسی شود و حالت بهینه ای از مکان و ظرفیت تولیدی آنها برای کاهش تلفات و THD در نظر گرفته شود .

کلید واژه - تولیدات پراکنده ، DG ، تلفات ، THD ، کیفیت توان .

### 1- مقدمه

تعاریف مختلفی برای تولیدات پراکنده به کار رفته است . ولی تعریف جامع و بدون محدودیت آن ، عبارت است از " منبع انرژی الکتریکی که مستقیماً به شبکه توزیع و یا سمت مصرف کننده وصل می گردد " . مقادیر نامی این تولیدات متفاوت است ، ولی معمولاً به مقادیر زیر 10 مگاوات گفته می شود . هدف اصلی از تولیدات پراکنده ، تولید توان اکتیو است ، ولی کاربردهای دیگری از آن مانند تولید همزمان برق و حرارت نیز مرسوم است [ 2 ] .

عبارت تولیدات پراکنده ، معمولاً همراه با یکی از فناوریهای خاص تولید انرژی به کار می رود . به طور کلی این فناوریها را می توان به دو دسته تجدید ناپذیر مانند میکروتوربین و پیلهای سوختی و

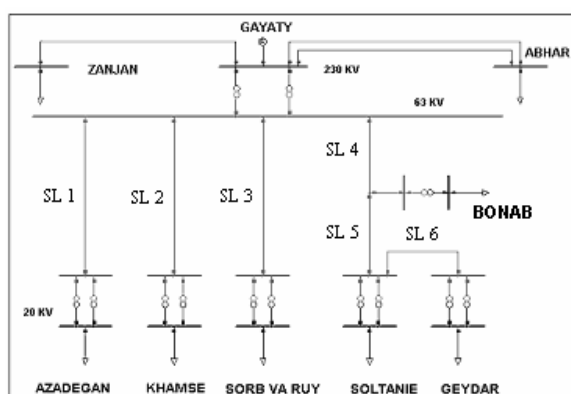
تولیدات پراکنده ، یک مفهوم کاملاً جدید نیست . بلکه در ابتدای شکل گیری صنعت برق ، تولید برق به صورت محلی انجام می شد . با رشد صنعت برق ، نیروگاهها به صورت بزرگ و متمرکز و در نواحی دور از مصرف کننده های پایانی ایجاد شدند . امروزه ، با رشد روز افزون تقاضای برق و نیز حرکت سیستمهای قدرت از ساختار سنتی به سمت ساختار رقابتی و مشکلات اقتصادی و محیطی نیروگاههای بزرگ ، تولیدات پراکنده جایگاه سابق خود را باز یافته است [ 1 ] .

منظور ، با گرفتن اطلاعات مربوط به مقدار هارمونیکهای موجود روی شینه های مهم صنعتی و اندازه گیری شده توسط دستگاه های شرکت برق منطقه ای زنجان ، و تزریق آنها به شبکه بوسیله منابع جریانی که در این نرم افزار بدین منظور اختصاص یافته اند ، این هارمونیکها را مدل می کنیم . در این نرم افزار ، از رابطه ( 1 ) برای محاسبه THD استفاده شده است . در این رابطه ،  $I(f1)$  برابر است با جریان مولفه اصلی ،  $i$  برابر است با مرتبه هارمونیک و  $I(fi)$  نیز برابر با جریان هارمونیک مرتبه  $i$  ام می باشد .

$$THD = \frac{\sum_{i=2}^n I(fi)^2}{I(f1)} \quad (1)$$

### 3- مطالعه روی شبکه فوق توزیع

در شکل ( 1 ) ، قسمتی از شبکه فوق توزیع استان زنجان که تحت تغذیه پست 63 KV / 230 KV / 400 KV غایتی است ، نمایش داده شده است .



شکل ( 1 ) : شبکه فوق توزیع مورد مطالعه

اطلاعات این شبکه ، مربوط به فروردین 1384 می باشد . شینه 230 کیلو ولت غایتی ، به عنوان مرجع و با ولتاژ 0/96 پریونیت که مربوط به اندازه گیری

توربینهای گازی و احتراقی ، و تجدید پذیر مانند توربینهای بادی و سلولهای خورشیدی ، تقسیم کرد . از مزایای عمده استفاده از تولیدات پراکنده می توان به کاهش تلفات ، امکان تولید همزمان برق و حرارت و بهبود راندمان انرژی و هزینه ، بهبود کیفیت توان و قابلیت اطمینان در بعضی کاربردها ، بهبود پروفیل ولتاژ و آلودگی محیطی کمتر اشاره کرد . بعضی نگرانیها نیز در مورد کیفیت توان و پایداری و تنظیم ولتاژ و نیز عملکرد حفاظتی و هماهنگی آن ممکن است بوجود آید که در مراجع مختلف ذکر شده است [1 - 4] .

در این مقاله ، اثر تولیدات پراکنده بر تلفات و نیز THD به عنوان یکی از شاخصهای مهم هارمونیکی کیفیت توان ، در شبکه استان زنجان ، بوسیله نرم افزار Digsilent بررسی می شود . همچنین مقایسه ای بین اثر نیروگاه متمرکز جدید در سطح 230 کیلو ولت در این شبکه و اثر تولیدات پراکنده صورت می گیرد . این مطالعه در دو قسمت ، یکی به صورت مستقل روی شبکه فوق توزیع ، و دیگری به صورت همزمان روی شبکه فوق توزیع و توزیع صورت خواهد گرفت

### 2- نحوه شبیه سازی بوسیله نرم افزار

در این مقاله از نرم افزار Power Factory Digsilent برای شبیه سازی استفاده شده است . پس از رسم دیاگرام تک خطی ، از دو تحلیل پخش بار عادی متقارن و پخش بار هارمونیکی نامتقارن برای انجام ارزیابی ها استفاده گردیده است . هدف از انجام پخش بار عادی ، ارزیابی تلفات و نیز ولتاژ شینه هاست . هدف از پخش بار هارمونیکی نیز ، به دست آوردن THD شینه های 20 کیلو ولت می باشد . برای ارزیابی مقدار THD ، ابتدا باید هارمونیکهای موجود را توسط نرم افزار شبیه سازی کرد . بدین

همین تاریخ است ، انتخاب شده است . فرض شده 3-1- بررسی اثر نیروگاه متمرکز جدید

تلفات خط 63 KV ( MW )	طول خط 63 KV ( KM )	THD % شینه 20 KV	ولتاژ شینه 20 KV ( PU )	خازن پست ( MVAR )	بار راکتیو ( MVAR )	بار اکتیو ( MW )	ظرفیت پست ( MW )	پست 63 KV / 20KV
0.223	SL1 : 10.3	0.261	0.878	---	7.2	19.2	2 × 15	آزادگان
0.230	SL2 : 8.3	0.285	0.899	---	8.6	22.5	1 × 30	خمسه
0.117	SL3 : 6	4.136	0.915	---	6.2	19.2	2 × 30	سرب و روی
0.800	SL4 : 10	0.460	0.903	---	0.13	0.35	1 × 7.5	بناب
1.208	SL5 : 14	2.226	0.860	1 × 2.4	2	13	1 × 30	سلطانیه
1.260	SL6 : 40	0.468	0.767	---	5	21	2 × 30	قیدار

در این قسمت ، اثر نیروگاه متمرکز جدید را که قرار است در چند سال آینده در سطح 230 کیلو ولت این شبکه نصب شود ، بررسی می کنیم . با در نظر گرفتن بهترین حالت این نیروگاه از نظر مکان و ظرفیت تولیدی ، مقدار تلفات کل برابر با 4/54 مگاوات می باشد . در این حالت ، توان تولیدی این نیروگاه برابر با 300 مگاوات و 100/2 مگاوار و مکان آن روی خط دومداره غایتی - ابهر و نزدیکتر به شینه 230 کیلو ولت غایتی است . در این حالت ، ولتاژ شینه های 20 کیلو ولت اندکی افزایش می یابند که بیشترین افزایش ، مربوط به شینه قیدار و به میزان 5/1

است که ترانسها همواره در TAP نامی کار می کنند ، تا در قسمتهای بعدی مقایسه بهتری بین حالتها صورت گیرد . اطلاعات مربوط به شبکه و ارزیابی اولیه از تلفات و ولتاژ و THD ، در جدول ( 1 ) ارائه شده است . همانطور که در این جدول مشاهده می شود ، بیشترین افت ولتاژ مربوط به شینه قیدار و بیشترین تلفات خط نیز مربوط به خط 63 کیلو ولت تغذیه کننده آن یعنی SL6 می باشد . بیشترین THD نیز مربوط به دو شینه مهم صنعتی سلطانیه و سرب و روی می باشد . مقدار تلفات کل فوق توزیع و انتقال در این حالت ، برابر با 5/04 مگاوات و مقدار تزریق توان کل به این شبکه برابر با 192/47 مگاوات می باشد .

جدول 1 : اطلاعات مربوط به پستهای 63 KV / 20 KV

منظم و نیز تغییر چندانی مشاهده نمی شود . برای مثال ، THD سلطانیه نسبت به قبل 6/5 % کاهش و

است که در حالت عادی مشاهده شد که این شینه بیشترین افت ولتاژ را داشت . در مورد THD ، روند

خود می رسد و از یک توان تولیدی به بعد ، نه تنها کاهش تلفات نخواهیم داشت ، بلکه نسبت به حالت عادی ، تلفات افزایش می یابد .

THD سرب و روی ، % 4/5 افزایش یافته است .

### 2-3- بررسی اثر منابع تولید کوچک و

#### پراکنده

اکنون با توجه به محدودیت قدرت ترانسهای موجود در پستها و بار گیری از خطوط و نیز با توجه به ظرفیت بهینه بدست آمده برای نصب DG روی هر شینه ، حالت بهینه ای برای توان تولیدی DG برای هر شینه ، در جدول ( ۲ ) ارائه شده است . مشاهده می شود که بیشترین کاهش تلفات مربوط به نصب DG در شینه ۲۰ کیلو ولت قیدار است که تلفات در این حالت برابر با ۱۹ / ۲ مگاوات می باشد که نسبت به حالت عادی ، % ۵۵ / ۵۶ و نسبت به حالت نیروگاه متمرکز ، % ۵۱ / ۸ کاهش یافته است . این شینه در حالت عادی ، بیشترین افت ولتاژ و خط ۶۳ کیلو ولتی که آن را تغذیه می کرد بیشترین تلفات را دارا بودند .

در مورد THD نیز مشاهده می شود که درصد THD در شینه ای که DG در آن نصب شده است ، به شدت کاهش می یابد ولی در شینه های دیگر تغییر چندانی نمی کند .

در این قسمت ، به جای نیروگاه متمرکز و بزرگ جدید ، از DG ها در شینه های 20 کیلو ولت ترانسهای 20 KV / 63 KV استفاده می کنیم . فرض می کنیم که این DG ها ، هارمونیک زا نبوده و در مد PV با ولتاژ 1/05 پریونیت کار می کنند . حداقل ضریب توان آنها را نیز 0/65 می گیریم یعنی  $P < 1/169Q$  و  $Q < 1/169P$  .

برای داشتن ارزیابی اولیه از وضعیت شینه ها در قبال نصب DG روی آنها ، یک واحد DG روی یکی از شینه های ۲۰ کیلو ولت قرار داده و با تغییر دادن توان تولیدی آن ، مقدار تلفات و THD را با روند تغییر ، بررسی می کنیم . این کار را برای بقیه شینه های ۲۰ کیلو ولت نیز تکرار می کنیم . با تغییر توان تولیدی DG ، مشاهده می شود که در یک محدوده ای از توان تولیدی ، مقدار کاهش تلفات به پیک

جدول 2 : نتایج حاصل شده از استفاده از یک DG در یکی از شینه های 20 کیلو ولت در حالت بهینه توان تولیدی

شینه محل نصب DG	ظرفیت بهینه DG ) ( MW	تلفات کل ( MW )	ولتاژ شینه مربوطه ( PU )	ضریب توان DG ) > Q ( 0	THD % شینه مربوطه	THD % سلطانیه	THD % سرب و روی
قیدار	28 – 31	2.19	1.05	0.87 – 0.9	0.15	2.22	4.25
سلطانیه	25	3.02	1.05	0.81	0.427	0.427	4.20
سرب و روی	23 – 25	4.63	1.02 – 1.025	0.65	0.04	2.11	0.76
خمسه	22 – 25	4.51	1.013 – 1.03	0.65	0.76	2.06	4.27
آزادگان	17 – 24	4.56	1.02 – 1.05	0.65 – 0.71	0.108	2.04	4.28
بناب	6	4.66	1.002	0.65	0.04	2.24	4.16

اگر در شینه آزادگان نیز DG نصب می کنیم ، در حالت بهینه حاصل شده ، DG قیدار برابر با 20 مگاوات با ضریب توان 0/92 ، سلطانیه 15 مگاوات با ضریب توان 0/96 ، سرب و روی 20 مگاوات با ضریب توان 0/67 ، خمسه 15 مگاوات با ضریب توان 0/65 و آزادگان 20 مگاوات با ضریب توان 0/8 می باشد . مقدار تلفات کل در این حالت برابر با 0/85 مگاوات است . نتایج مربوط به حالت های ارزیابی شده ، در جدول ( 3 ) نمایش داده شده اند . حالت استفاده از یک DG در این جدول ، مربوط به نصب DG در شینه قیدار است که بهترین کاهش تلفات را در حالت نصب یک واحد DG داشت . همانطور که در این جدول مشاهده می شود ، با افزایش سهم DG از تولید کل ، تلفات و افت ولتاژها کاهش می یابند . همچنین THD شینه ای که DG روی آن نصب شده است ، به شدت کاهش می یابد . همچنین توان تزریقی کل به شبکه تقریباً ثابت مانده است و با افزایش سهم تولیدی DG ، این توان مقداری کاهش می یابد ( در حدود ۸٪ نسبت به حالت عادی ) . در واقع ، این افزایش سهم DG از تولید است که تلفات را کاهش می دهد .

در شکل ( 2 ) ، رابطه تلفات کل با سهم DG از تولید ، نشان داده شده است . همانطور که مشاهده می شود ، هر چه قدر که

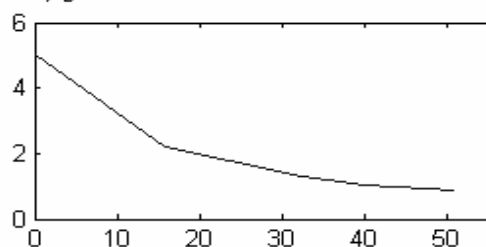
با بررسی نتایج جدول ( 2 ) ، مشاهده می شود که از نظر کاهش تلفات ، شینه های قیدار و سلطانیه و از نظر کاهش THD ، شینه های صنعتی سلطانیه و سرب و روی باید انتخاب شوند . لذا با انتخاب این سه شینه و تغییر دادن توان تولیدی DG های روی آنها ، حالت بهینه ای را بدست می آوریم که در این حالت ، DG مربوط به قیدار برابر با 25 مگاوات با ضریب توان 0/94 ، سلطانیه 15 مگاوات با ضریب توان 0/9 و سرب و روی 20 مگاوات با ضریب توان 0/65 می باشد . مقدار تلفات کل در این حالت برابر با 1/32 مگاوات است که نسبت به حالت عادی 73/8٪ و نسبت به حالت نیروگاه متمرکز ، 71٪ کاهش یافته است . کمترین ولتاژ نیز مربوط به شینه آزادگان و برابر با 0/924 است .

حال با توجه به افت ولتاژ موجود ، اگر بخواهیم DG جدیدی نصب کنیم ، شینه بناب با توجه به ظرفیت کم و بار کم پست آن و نیز افت ولتاژ کم آن ، گزینه مناسبی نیست . نصب DG روی شینه خمسه و یا آزادگان ، در بهترین حالت ، تلفات یکسانی را حاصل می کند که برابر با 1/03 مگاوات است ، ولی توان تولیدی خمسه در این حالت نسبت به آزادگان کمتر است ( 17 مگاوات در مقابل 22 مگاوات ) . لذا از DG با توان تولیدی 17 MW روی شینه خمسه استفاده می کنیم که ضریب توان آن در این حالت برابر با 0/65 می شود . در مورد ظرفیت DG های دیگر ، لازم به ذکر است که فقط توان تولیدی DG شینه قیدار در این حالت تغییر کرده است که از 25 مگاوات در حالت قبلی ، به 22 مگاوات در این حالت رسیده است .

جدول 3 : مقایسه بین نتایج مربوط به حالت های مختلف استفاده از تولیدات پراکنده و نیروگاه متمرکز و حالت عادی

حالت مورد نظر	تلفات کل ( MW )	تزریق توان کل ( MW )	توان تولیدی DG ها ( MW )	سهم DG ها از تولید کل %	ولتاژ شینه با بیشترین افت ( PU )	تلفات خط ( MW ) بیشترین	بیشترین THD %
حالت عادی	5.04	192.47	0	0	0.767 : قیدار	SL6 : 1.26	4.14 : سرب
نیروگاه متمرکز	4.54	191.7	0	0	0.806 : قیدار	SL6 : 1.141	4.32 : سرب
یک واحد DG	2.19	189.59	30	15.87	0.898 : آزادگان	SL6 : 0.274	4.25 : سرب
سه واحد DG	1.32	186.65	60	32.49	0.926 : آزادگان	SL2 : 0.216	0.76 : سرب
چهار واحد DG	1.03	184.12	74	40.19	0.941 : آزادگان	SL1 : 0.194	0.75 : سرب
پنج واحد DG	0.85	175.56	90	51.18	1.015 : بناب	SL3 : 0.055	0.74 : سرب

تلفات کل ( MW )



سهم DG از تولید کل ( % )

شکل 2 : رابطه تلفات کل با سهم DG از تولید کل

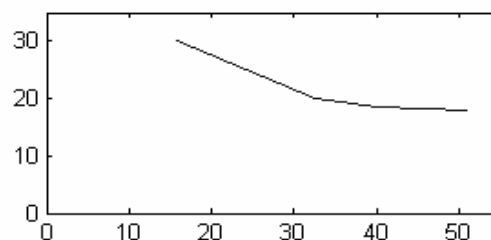
#### 4- مطالعه روی شبکه فوق توزیع و توزیع

در این قسمت، مکان DG ها را روی فیدرها و شینه های 20 کیلو ولت ترانسهای 400 V / 20 KV جابجا کرده و اثر آن را به طور همزمان روی شبکه فوق توزیع و توزیع بررسی می کنیم. برای ارزیابی بهتر روی THD، به شینه آزادگان، هارمونیک زیادی

این سهم افزایش می یابد، تلفات فوق توزیع و انتقال کاهش پیدا می کند، ولی از نرخ کاهش آن نیز کاسته می شود به طوری کاهش تلفات تقریباً در حال اشباع شدن است و افزایش سهم DG به صرفه نیست. همچنین در شکل (3)، رابطه متوسط تولید هر DG با سهم DG از تولید، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، متوسط تولید هر DG، با افزایش سهم DG از تولید کل، کاهش می یابد و تقریباً به سمت مقدار ثابتی میل می کند.

توزیع می کنیم .  
عادی , مربوط به حالت بدون DG است . در حالت 1 , همان پنج واحد DG حالت بهینه قسمت قبل که روی شینه های 20 کیلو ولت ترانسهای 63 KV / 20 KV نصب شده بودند , روی همان پنج شینه نصب شده اند . در حالت 2 , به وسط هر فیدر 20 کیلو ولت , 7 مگاوات از DG های موجود روی شینه های آزادگان و خمسه انتقال داده شده اند . در حالت 3 , DG های منتقل شده به وسط فیدرها , به پایین فیدرها منتقل شده اند . در حالت 4 , DG های روی فیدرها , به ظرفیتهای کوچکتر ( حداکثر 3 مگاوات ) , تقسیم شده و روی شینه های 20 کیلو ولت شبکه توزیع , پخش شده

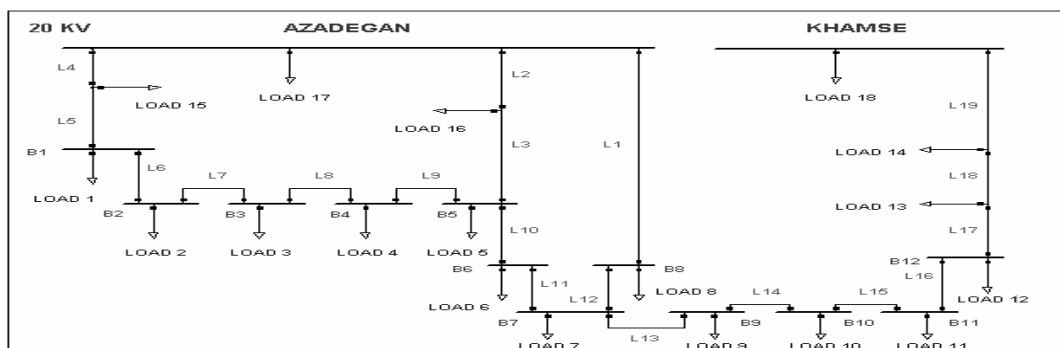
متوسط تولید هر واحد DG ( MW )



سهم DG از تولید کل (%)

شکل 3 : رابطه متوسط توان تولیدی هر DG با سهم DG از تولید

در جدول ( 4 ) , نتایج مربوط به حالت های مختلف بررسی شده در این قسمت , ارائه شده است . حالت



شکل 4 : شبکه توزیع مورد مطالعه

جدول 4 : نتایج مربوط به جابجایی و توزیع DG ها روی فیدرها و شینه های 20 کیلو ولت شبکه توزیع

حالت مورد نظر	تلفات فوق توزیع ( MW )	تلفات شبکه توزیع ( MW )	THD % شینه آزادگان	THD % شینه خمسه	بیشترین THD % شینه های توزیع	کمترین THD % شینه های توزیع
حالت عادی	4.38	0.68	4.33	1.99	3.92	2.84
حالت 1	1.33	0.43	1.43	0.29	1.31	0.85
حالت 2	1.32	0.35	0.84	0.09	0.62	0.33
حالت 3	1.32	0.23	1.18	0.11	0.61	0.28
حالت 4	1.32	0.15	1.09	0.08	0.32	0.05

[3] Davis , Murray , “ Will distributed resources ultimately replace central station generation serving commercial and residential loads ? ”, IEEE 2000 .

[4] G. Joos , B.T.Ooil , D. Mc Gillis, F.D.Galiana and R. Marceau , “ The potential of distributed generation to provide ancillary service ”, IEEE 2000 .

اند و با تغییر ظرفیت و مکان DG ها , حالت بهینه ای از نظر کاهش تلفات و THD بوجود آورده شده است .

با بررسی نتایج جدول ( 4 ) , مشاهده می شود که با تقسیم DG ها به ظرفیتهای کوچکتر و تقسیم و توزیع آنها بین فیدرها و شینه های 20 کیلو ولت شبکه توزیع , تلفات فوق توزیع و انتقال در همان حالت بهینه قبلی باقی می ماند ولی تلفات شبکه توزیع کاهش قابل توجهی پیدا می کند . همچنین از THD شینه های 20 کیلو ولت شبکه توزیع نیز به شدت کاسته می شود .

## 5- نتیجه گیری

در این مقاله , اثرات تولیدات پراکنده بر تلفات و THD قسمتی از شبکه استان زنجان بررسی شد . همانطور که مشاهده شد , با افزایش سهم DG ها از تولید برق کل , تلفات کاهش می یابد. همچنین مشاهده شد که با افزایش خیلی بیشتر سهم DG از تولید , کاهش تلفات تقریباً به سمت اشباع شدن می رود . با تقسیم DG های شینه های 20 کیلو ولت به ظرفیتهای کوچکتر و توزیع آنها روی فیدرها و شینه های 20 کیلو ولت , تلفات و THD شبکه توزیع , کاهش چشمگیری پیدا می کنند . با توجه به گستردگی شبکه توزیع , برای تعیین مکان و ظرفیت بهینه DG ها در این شبکه , باید از الگوریتمهای بهینه سازی مناسبی استفاده کرد .

## مراجع

[1] Salvaderi , L . “ An international prespective on the future of power generation and transmission world wide : the Italian case ”, IEEE Transaction on Energy conversion . March 1992 .

[2] T.Ackermann , G.Anderson , L. Soder , “Distributed Generation : a definition ”, Elsevier science, PP195 - 204 Dec 2000 .