NRI

بسم الله الرحمن الرحیم

بررسی تاثیر عدم‌قطعیت تولید بادی در برنامه‌ریزی بهره‌برداری

پنجمین کنفرانس انرژی بادی ایران
مهرماه ۱۳۹۶

www.nri.ac.ir

سرفصل مطالب

۱ – بررسی تاثیر عدم‌قطعیت تولید بادی در برنامه‌ریزی بهره‌برداری

۱–۱– عدم‌قطعیت در تولید مورد انتظار

۱–۲– تغییرات ناگهانی و شدید

۲ – تخصیص بهینه تولید

۳ – برنامه‌ریزی ورود و خروج واحدهای تولید

سرفصل مطالب

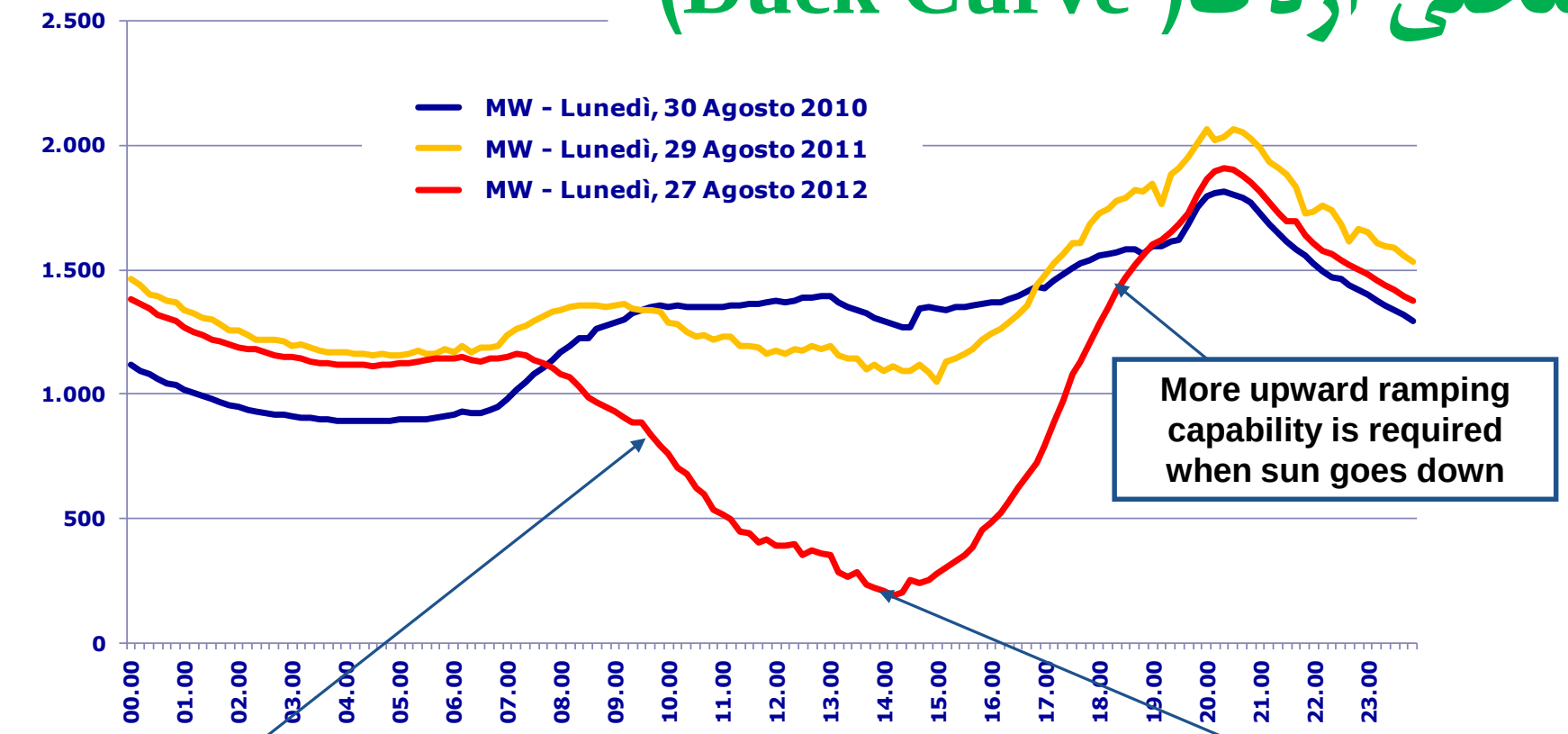
۴ – تحلیل اقتصادی و مصالحه میزان بهره‌برداری

۵ – ارائه مثال عددی

۶ – جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

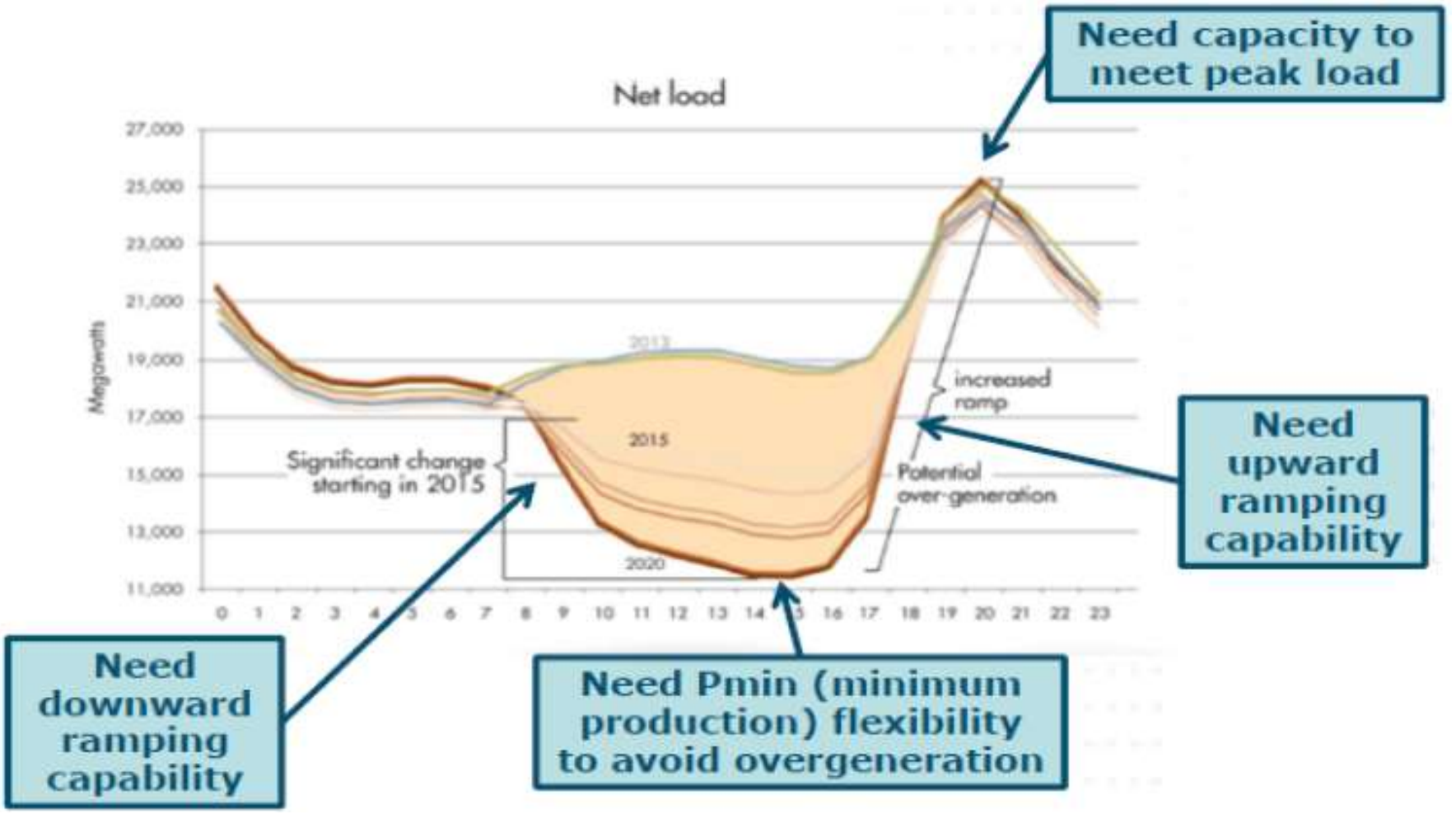
نقش تغییرپذیری تولیدات تجدیدپذیر

منحنی اردک (Duck Curve)

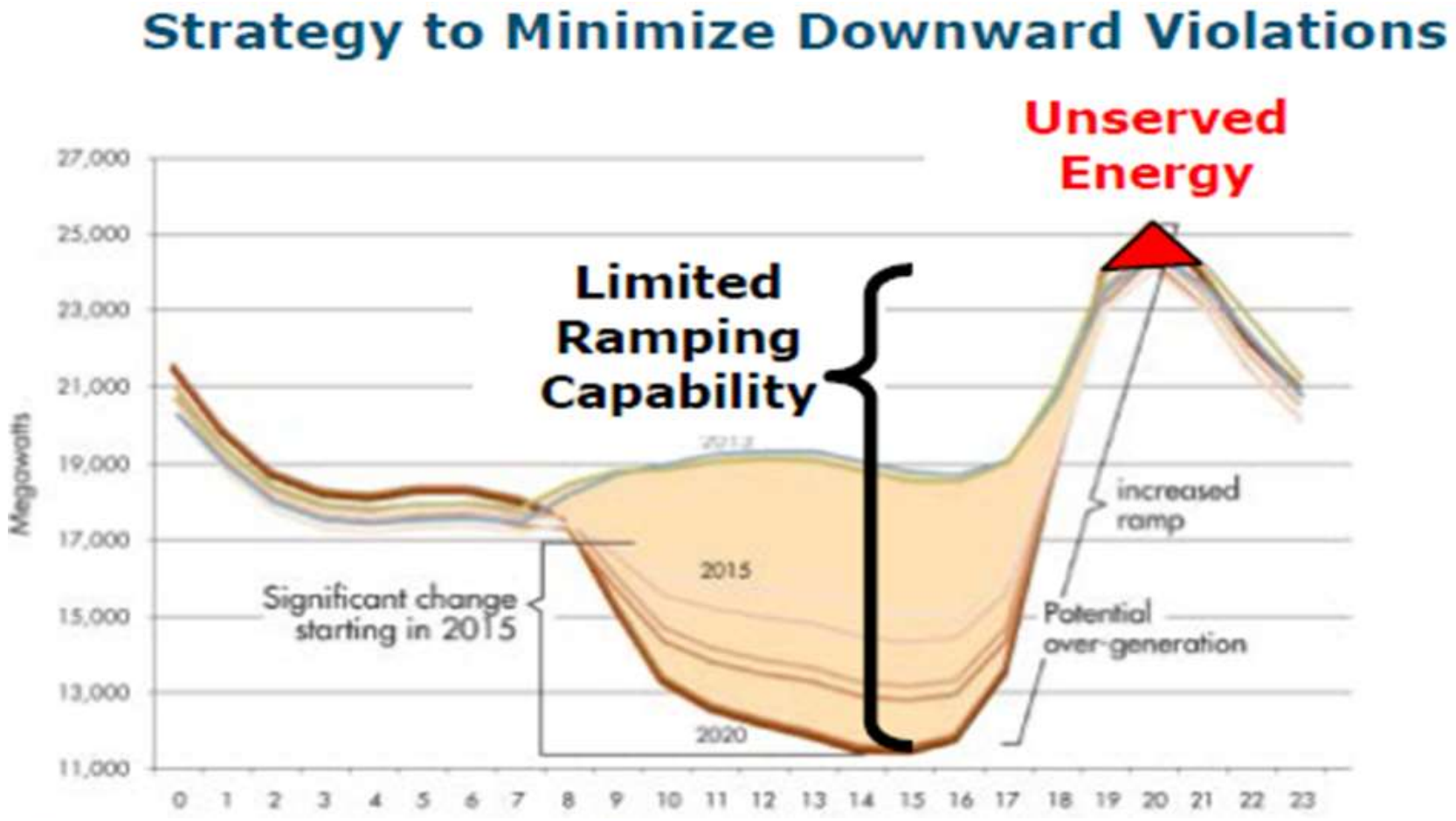


Source: ENEL

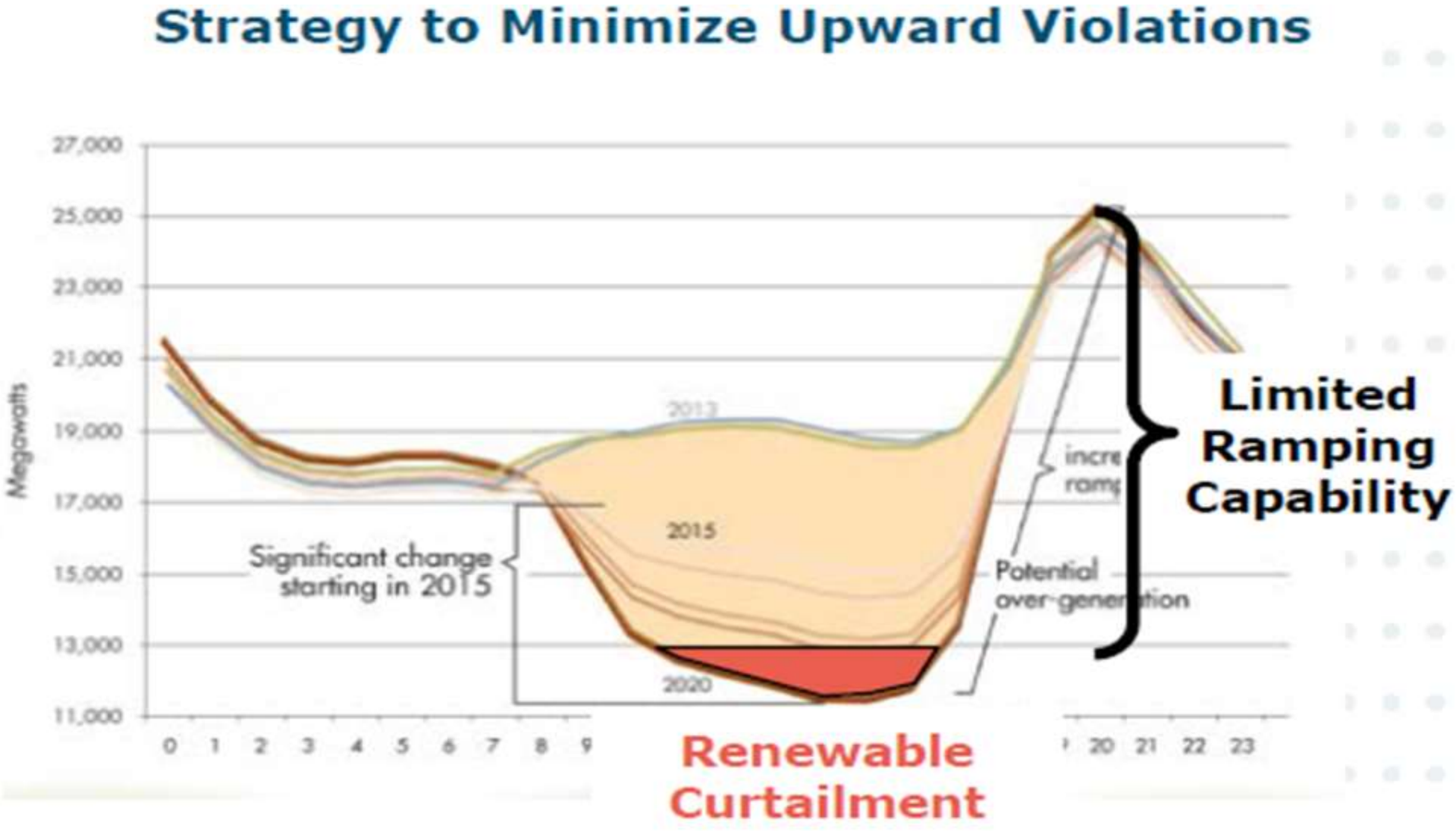
الزامات تولید برای غلبه بر تغییرپذیری



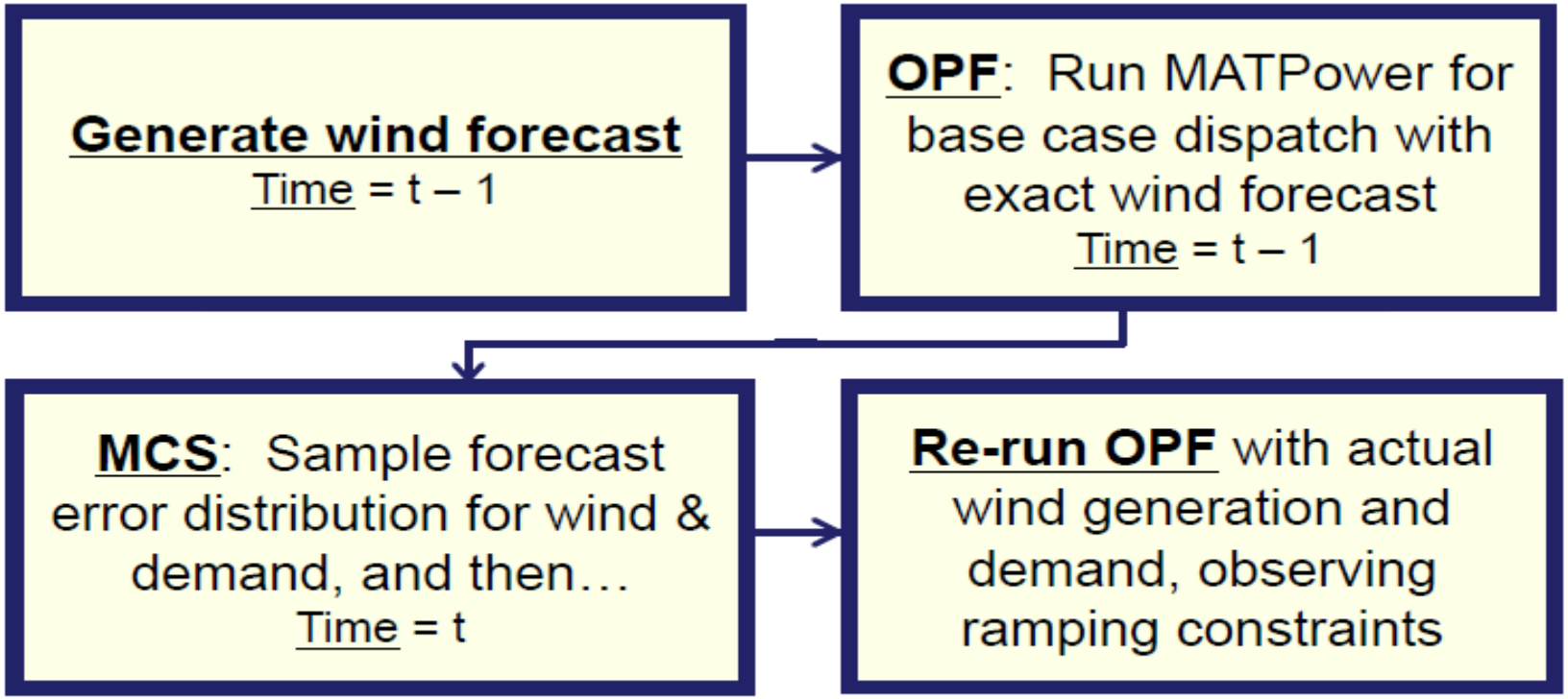
چالش کمبود نرخ افزایش توان و نحوه غلبه بر آن



چالش کمبود نرخ کاهش توان و نحوه غلبه بر آن

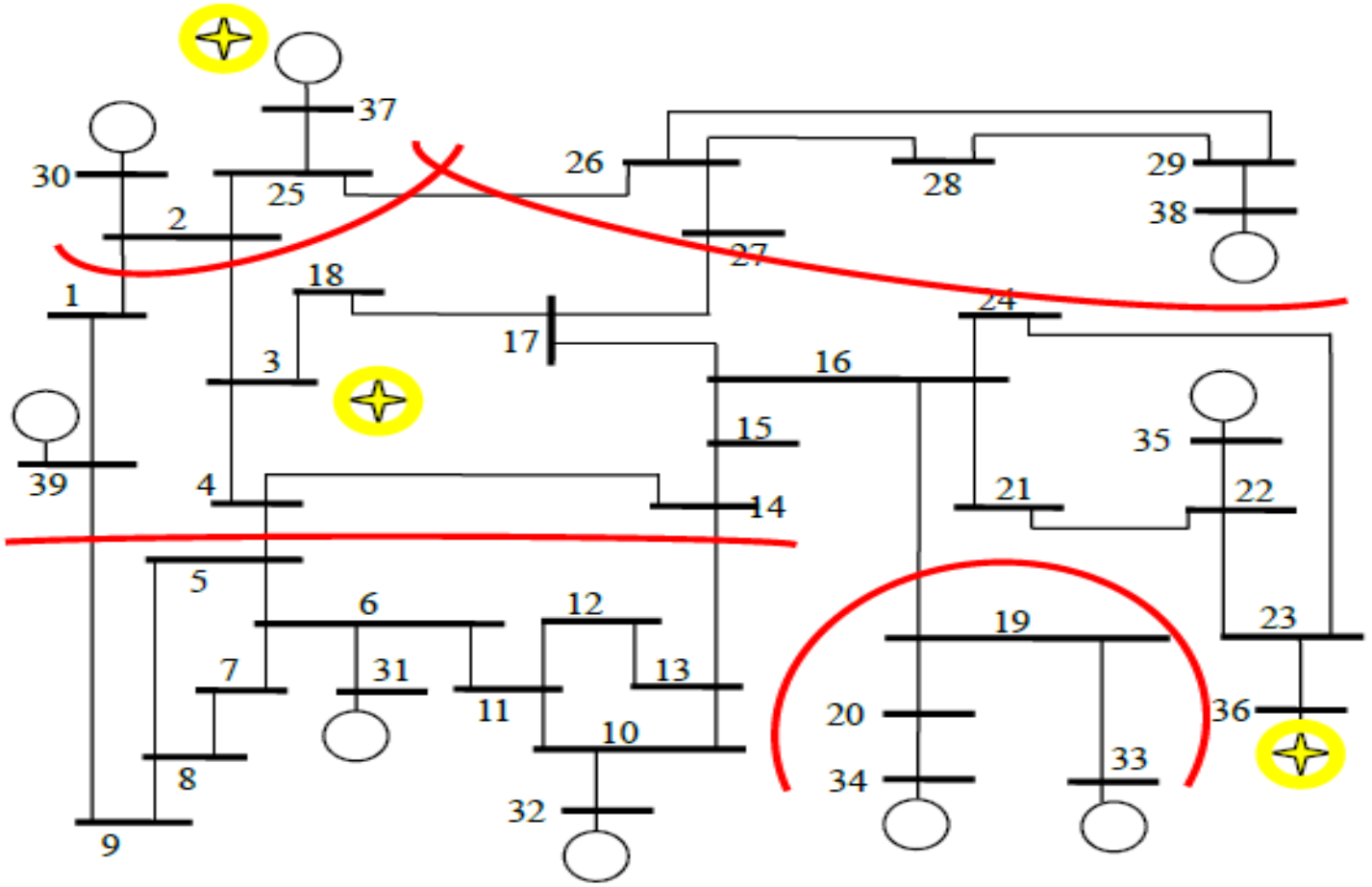


دیدگاه سناریوسازی – شبیه‌سازی مونت کارلو



(>20,000 OPF runs)

دیدگاه سناریوسازی – نتایج تحلیل

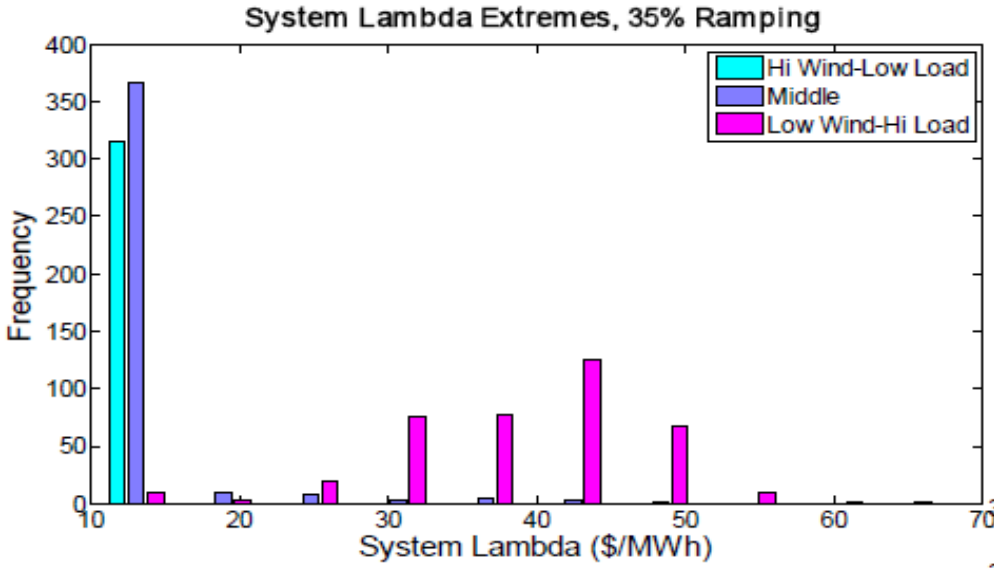


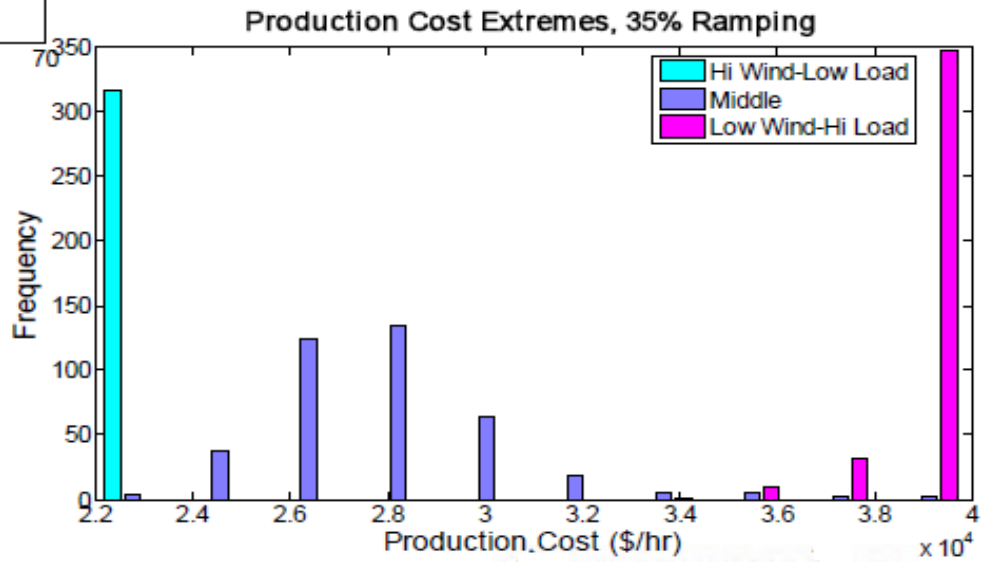
دیدگاه سناریوسازی – نتایج تحلیل

- 46 base cases defined based on wind power forecast, load level and non-wind ramp-rate:
  - Wind Output Forecast : 5%, 20%, 40%, 60%, 80%
  - Reserves Margin: 7.5%, 10%, 15%, 20%, 25%
  - Non-Wind Ramp Rate: 17.5%, 35%

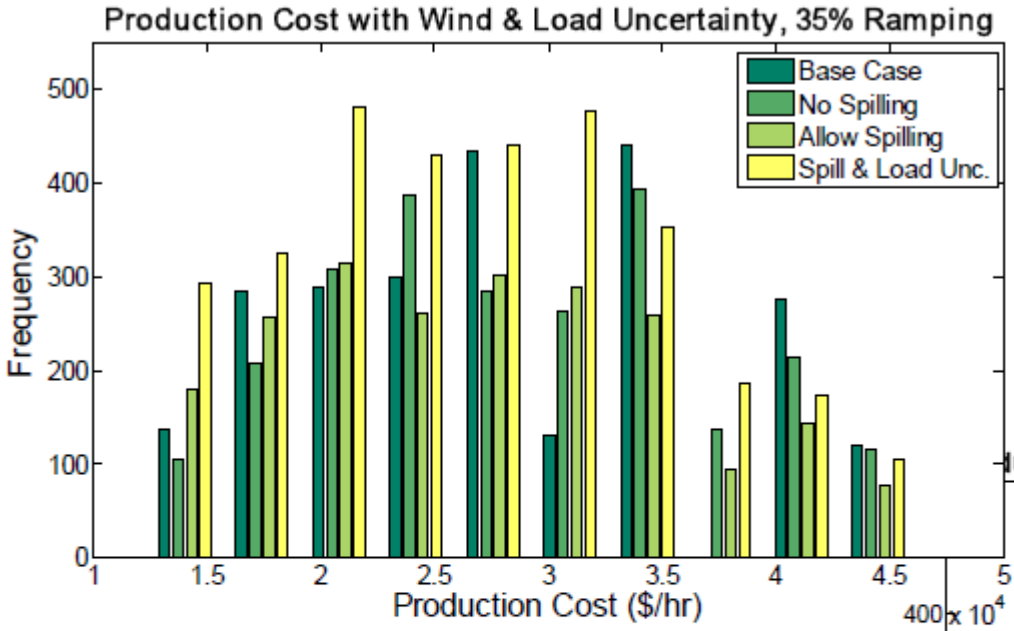
  - Allowed to spill wind? Yes / No

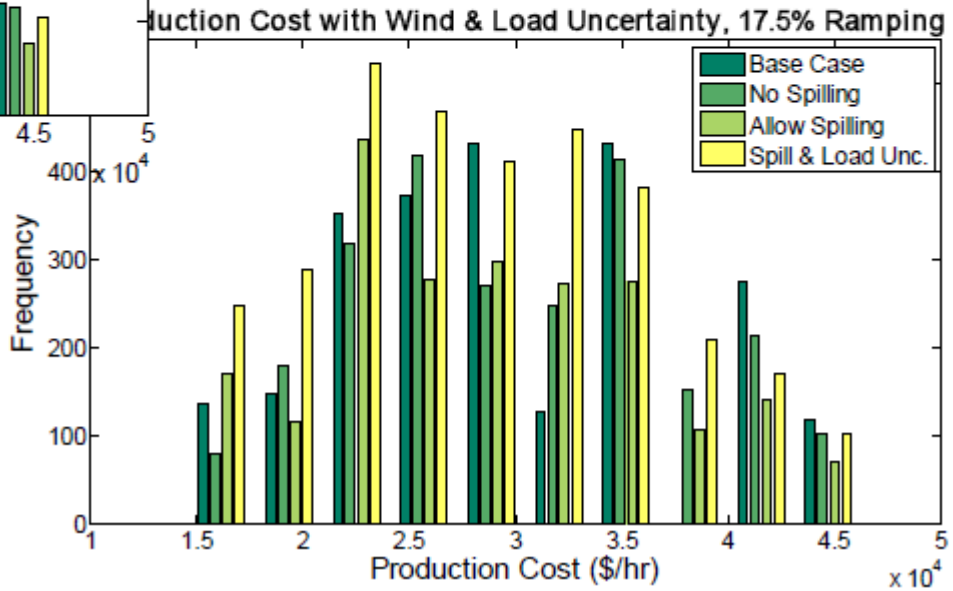
دیدگاه سناریوسازی – نتایج تحلیل



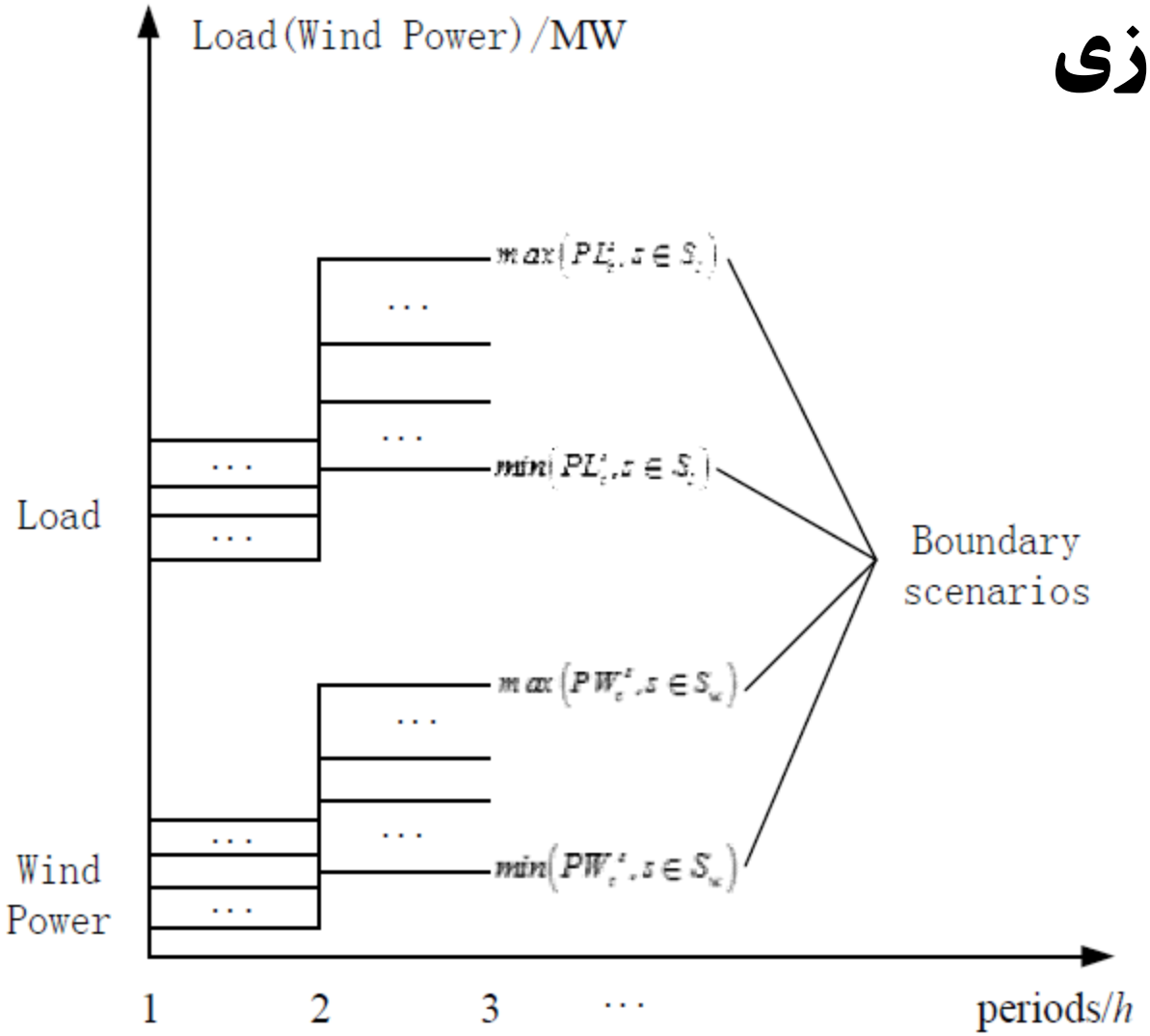


دیدگاه سناریوسازی – نتایج تحلیل





دیدگاه سناریوسازی



دیدگاه سناریوسازی

$$W_A(t) = W_F(t) + e_W(t)$$

$$F_w(e_w) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} I(E_{wi} \le e_w)$$

$$\xi_s = \left\{ s_W^1, s_W^2, \ldots, s_W^T \right\}$$

Unit Commitment: UC

$$\underset{s\in S}{Minimize} \quad F1=\sum_{s=1}^{N_s} Pr(s)\times f(s,u)$$

$$=\sum_{s=1}^{N_s} Pr(s)\sum_{t=1}^{T}\sum_{g=1}^{N_g}\left\{F\left(PG_{g,t}^{s}\right)\cdot U_{g,t}+SC_{g,t}^{s}\cdot U_{g,t}\cdot\left(1-U_{g,t-1}\right)\right\}$$

محدودیت‌های برنامه‌ریزی

الف – تعادل تولید و مصرف

ب – ظرفیت رزرو چرخان مناسب

ج – نرخ افزایش/کاهش توان مناسب

د – حداقل زمان روشن بودن و خاموش بودن واحد

محدودیت‌های برنامه‌ریزی – رزرو چرخان

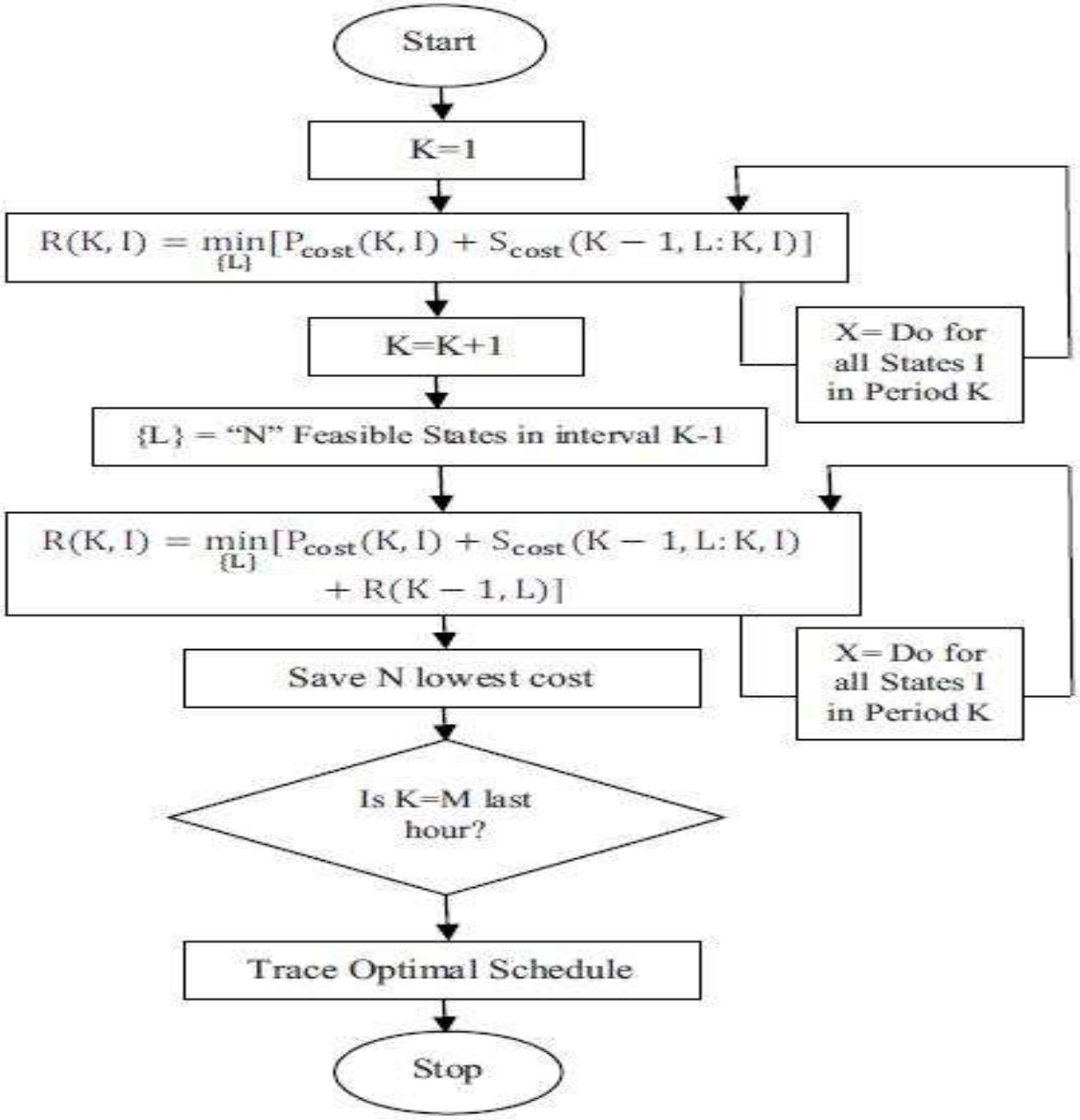
$$USR_t^s \geq SR_{t,need}$$

$$DSR_t^s \geq SR_{t,need}$$

$$USR_t^s = \sum_{g=1}^{Ng} US_{g,t}^s = \sum_{g=1}^{Ng} U_{g,t} \cdot \left(PG_g^{max} - PG_{g,t}^s \right)$$

$$DSR_t^s = \sum_{g=1}^{Ng} DS_{g,t}^s = \sum_{g=1}^{Ng} U_{g,t} \cdot \left(PG_{g,t}^s - PG_g^{min} \right)$$

برنامه‌ریزی پویا



اطلاعات واحدهای حرارتی

Unit	Min (MW)	Max (MW)	C_k (€/MWh)	R_k^{up} (MW/h)	R_k^{dn} (MW/h)	T_0 (MW)
1	150	455	20,335	80	80	300
2	150	455	21,229	80	80	300
3	20	130	34,003	26	26	0
4	20	130	33,420	26	26	0
5	25	162	28,993	32.4	32.4	0
6	20	80	32,834	16	16	0
7	25	85	38,856	17	17	0
8	10	55	59,673	11	11	0
9	10	55	61,207	11	11	0
10	10	55	61,963	11	11	0

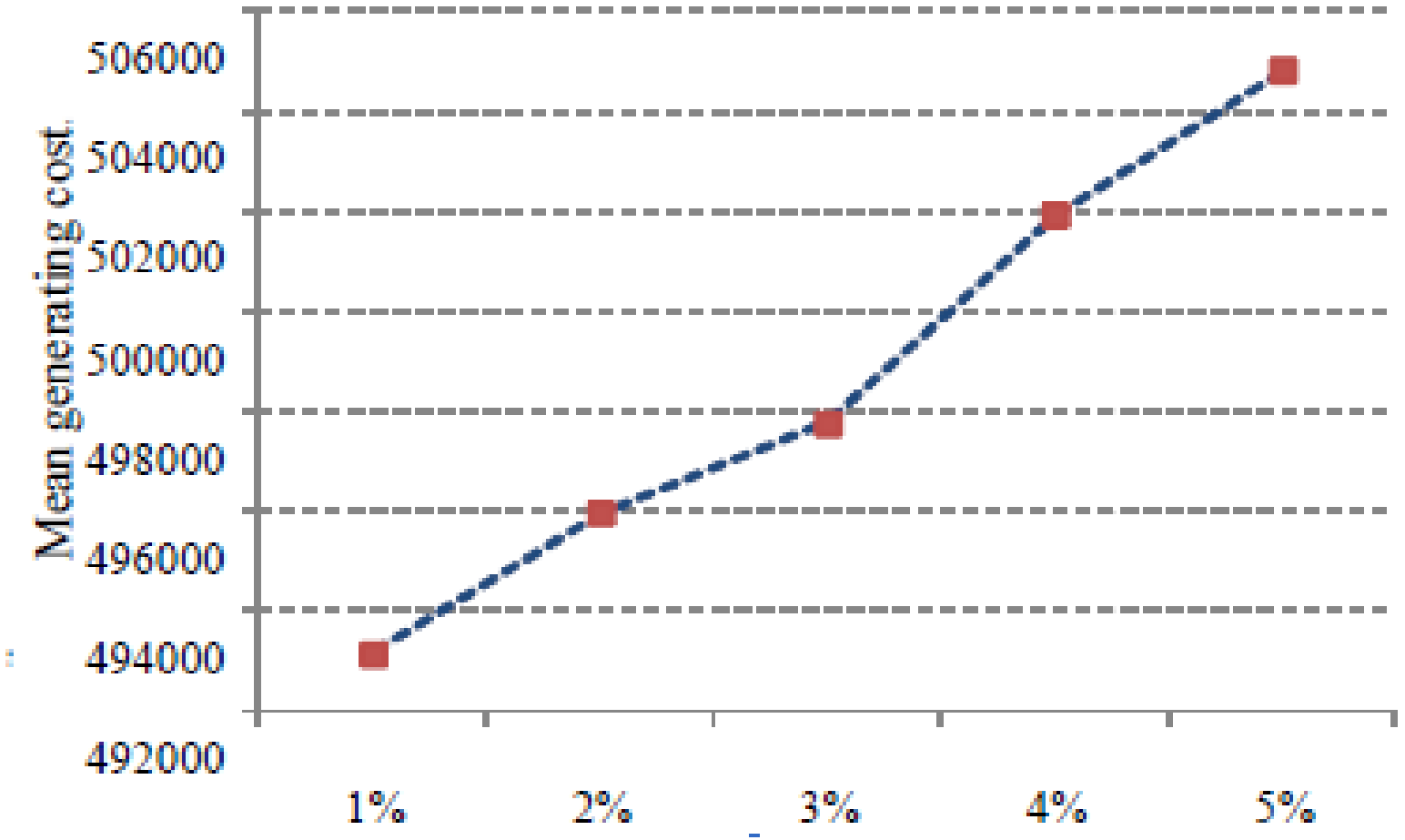
اطلاعات واحدهای حرارتی – ادامه

	T_k^{up} (h)	T_k^{dn} (h)	CC (€)	HC (€)	IS (h)
1	8	8	9000	4500	8
2	8	8	10000	5000	8
3	5	5	1100	550	-5
4	5	5	1120	560	-5
5	6	6	1800	900	-6
6	3	3	340	170	-3
7	3	3	520	260	-3
8	1	1	60	30	-1
9	1	1	60	30	-1
10	1	1	60	30	-1

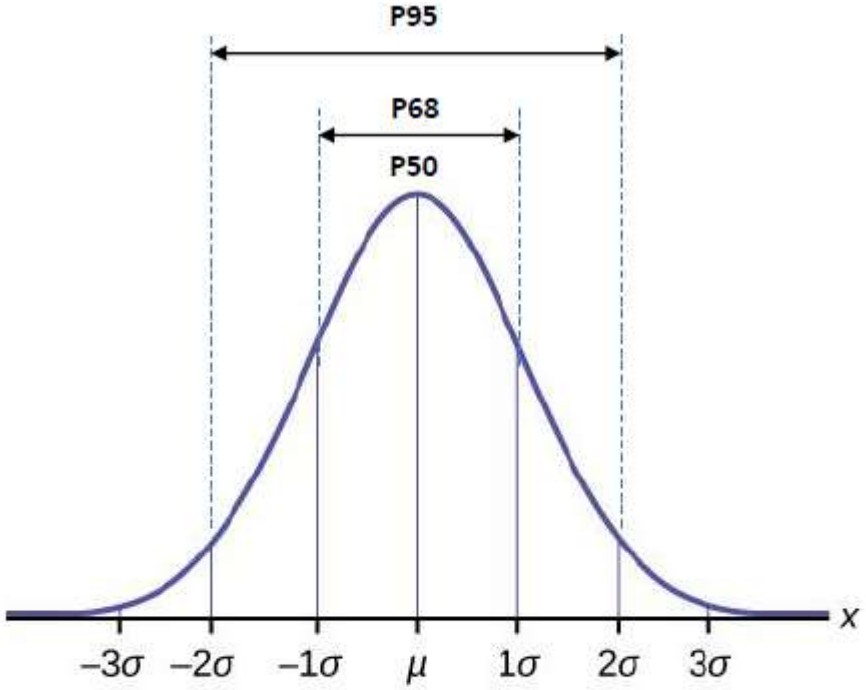
اطلاعات واحد بادی (توان ذکر شده، توان متوسط است.)

Peri-ods	Wind power (MW)	Peri-ods	Wind power (MW)	Periods	Wind power (MW)
1	123.8	9	75.0	17	153.8
2	146.3	10	75.0	18	168.8
3	131.3	11	97.5	19	146.3
4	131.3	12	105.0	20	157.5
5	150.0	13	86.3	21	168.8
6	138.8	14	153.8	22	142.5
7	142.5	15	97.5	23	112.5
8	105.0	16	123.8	24	75.0

متوسط هزینه تولید بر اساس میزان خطای پیش‌بینی تولید بادی



تصمیم‌گیری در خصوص میزان مطلوب عدم‌قطعیت تولید بادی



$P50 = \mu$

$P75 = \mu - 0.67\sigma$

$P90 = \mu - 1.28\sigma$

$P95 = \mu - 1.96\sigma$

تعیین ضریب مشارکت مناسب تولید بادی

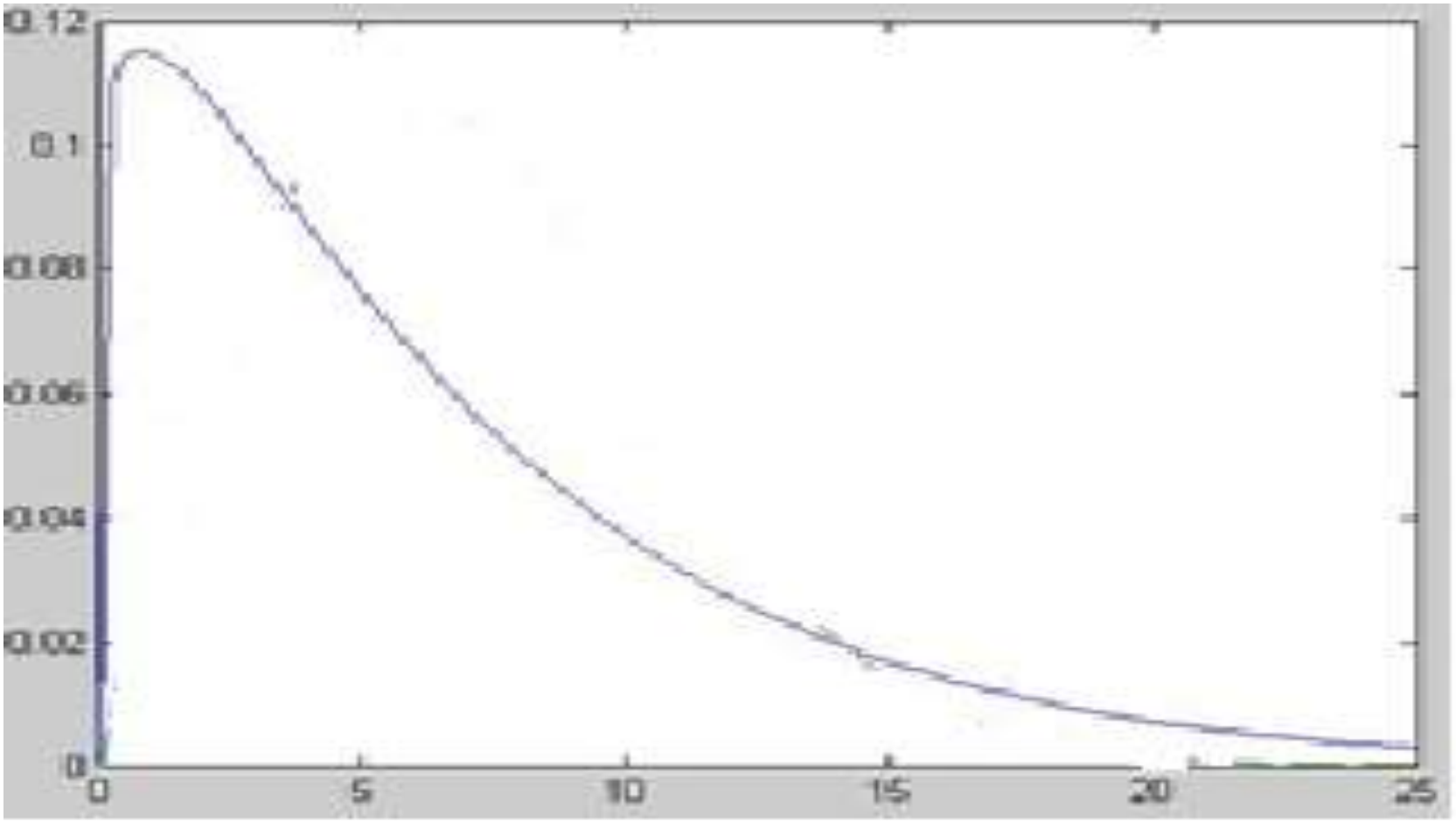
هزینه عدم استفاده کامل از توان بادی (Wind Power Curtailment)

$$\sum_{i=1}^{Nw} CP_{wi}\left(W_{wi} - P_{wi}\right) = \sum_{i=1}^{Nw} K_{pi}\left(W_{wi} - P_{wi}\right)$$

Unit	C_k (€/MWh)
Load Shedding	10.000
Wind Spilling	1.000
Generation Surplus	10.000

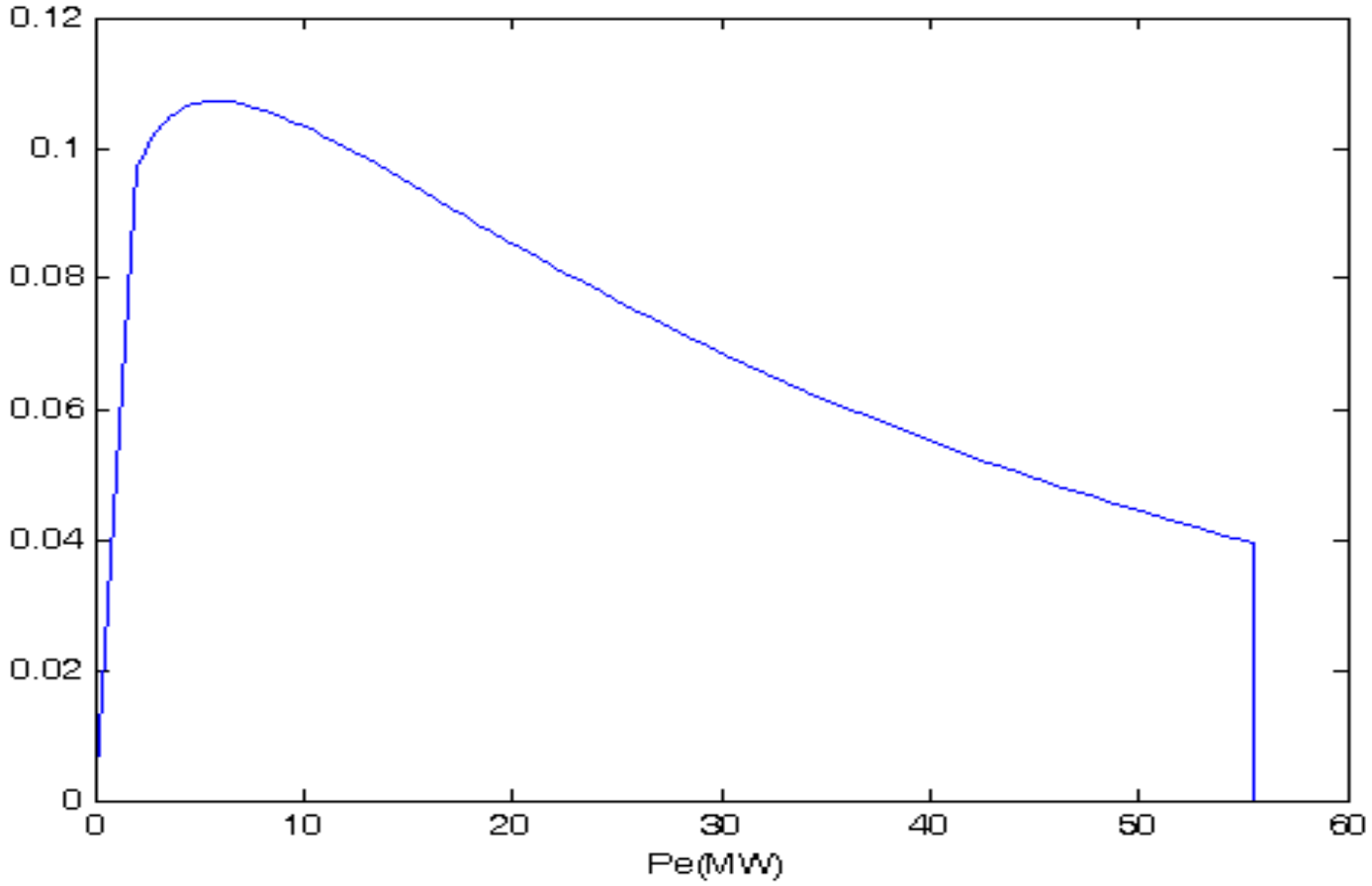
تعیین ضریب مشارکت مناسب تولید بادی

تابع توزیع احتمال سرعت باد

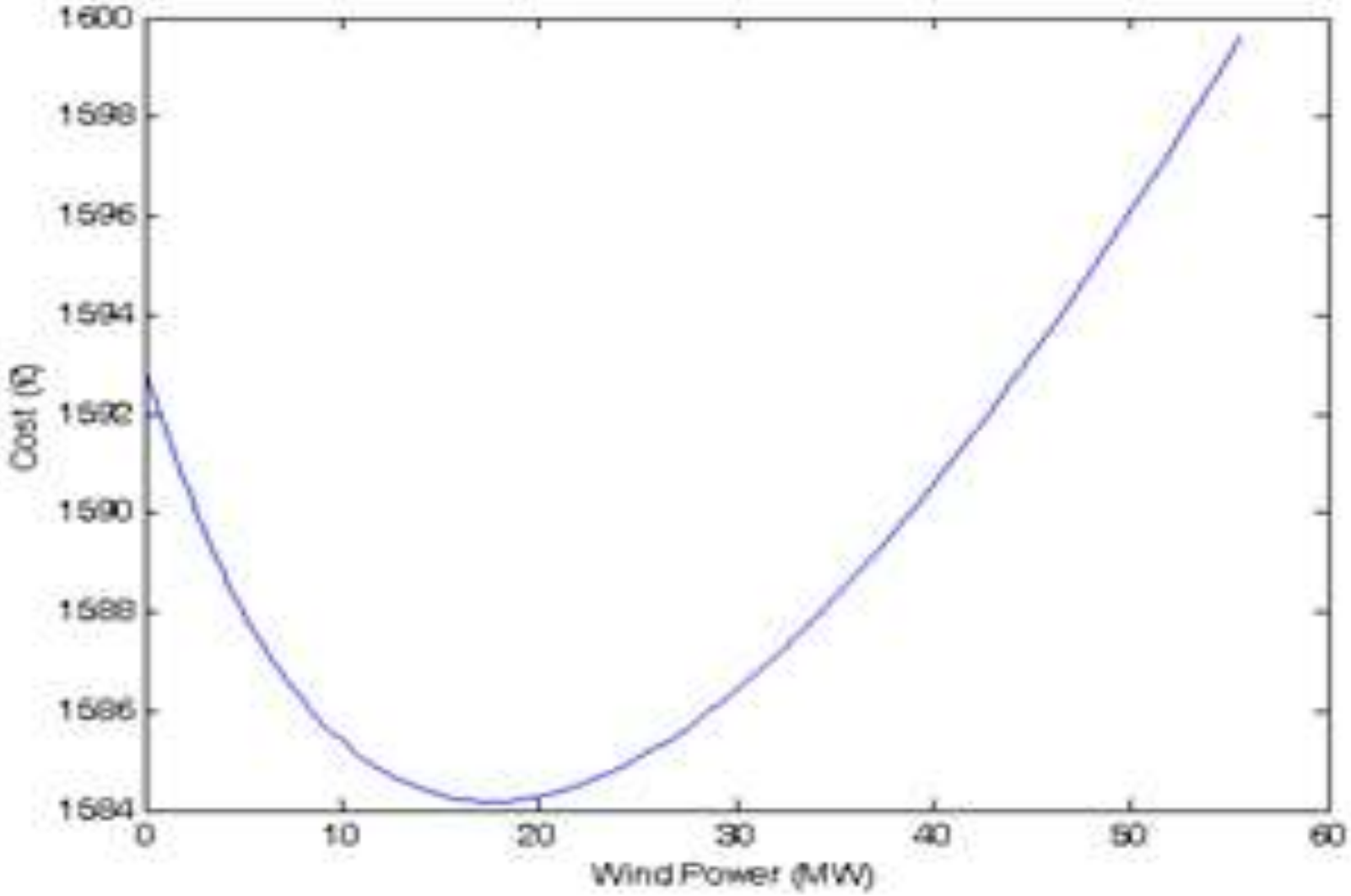


تعیین ضریب مشارکت مناسب تولید بادی

تابع توزیع احتمال توان بادی



تعیین ضریب مشارکت مناسب تولید بادی



جمع‌بندی

هر چند به نظر می‌رسد هزینه تولید انرژی الکتریکی از انرژی باد تقریباً صفر است، لکن عدم‌قطعیت تولید بادی، خود هزینه‌های دیگری را به شبکه تحمیل می‌کند.

برای تعیین میزان مطلوب تولید بادی، خصوصاً در شبکه‌های با ضریب نفوذ بالا، لازم است مصالحه‌ای بین تولید بادی و هزینه انجام شود.

به همین منظور، توسعه و بکارگیری ابزارهای محاسباتی برای مدلسازی و تحلیل عدم‌قطعیت در برنامه‌ریزی تولید، کاملاً واجب و ضروری است.