محاسبة حداکثر قدرت بارگذاری در سیستم قدرت با استفاده از خاصیت منحنی P-e

حیدرعلی شایانفر استاد دانشکدة برق، دانشگاه علم و صنعت ایران
قباد نوروزی فوق لیسانس برق، طرح و توسعه، شرکت برق منطقهای فارس

چکیده

در این مقاله حد نهائي قدرت با يك روش جديد پخش بار بهنام پخش بار مستمر که در آن تعداد مراحل انجام عملیات برنامه با حدس اولیه حداکثر قدرت بارگذاري کاهش مییابد تعیین میگردد .در روش فوق اساس کار با استفاده ازخاصیت منحني p-e و رعایت پایداري ولتاژ در ضعیفترین شینهاي شبکه میباشد. در واقع حد بار و ظرفیت خطوط با توجه بهپایداري ولتاژ در حساسترین شین شبکه محاسبه میشود. روش فوق روي يك شبکه ۱۴ شینه IEEE و قسمتي از شبکه برق منطقهاي فارس آزمایش شده که میتوان آن را با تقریب نسبتاً خوبي بهعنوان حداکثر قدرت بارگذاري شبکه انتخاب نمود.

کلمات کلیدی: پایداری ولتاژ، حداکثر قدرت بارگیری، منحنی P-e، اثر زوج e-f، پخش بار مستمر

Computation of Maximum Loadability in Power Systems Using P-e Curve

H. A. Shayanfar Iran University of Science and Technology
G. Noroozi Fars Regional Electric Company

Abstract

This paper presents an efficient algorithm to estimate the maximum load level for heavily load power system with the load-generation variation vector. The elliptic characteristics of p-e curve are illustrated and estimate maximum load level by applying the curve fitting technique to the p-e curve with the use of the power flow solutions at three load levels. An efficient estimation algorithm has been developed by utilizing the elliptic properties of the p-e curve. The proposed algorithm is tested on IEEE 14 bus & F.R.E.C system which shows that the maximum load level can be efficiently estimated with remarkable improvement in accuracy.

Key words: Voltage Stability, Maximum Loudability, p-e Curve

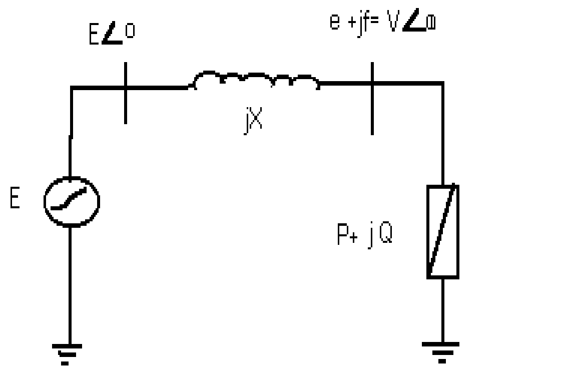
۱- مقدمه

این روش جهت تخمین حداکثر قدرت بارگذاري يك سيستم قدرت بزرگ همراه با افزايش بار بهكار ميرود كه كاربرد زيادي در پيش‌بيني كوتاه بار دارد. اساس كار با استفاده از خاصيت منحني p-e بهجای منحنی مشخصه P-V و رعايت پايداري ولتاژ در ضعيفترين شينهاي شبكه با استفاده از روش جديد پخش بار مستمر [CP-FLOW] تعيين ميگردد[2]. در این روش تعداد مراحل انجام عمليات برنامه با حدس اولیه مقدار بارگذاري كاهش يافته است.

معادلات پخش بار را می‌توان به صورت معادله درجة دوم برحسب پارامترهای ولتاژ e-f و ضریب بار λ نشان داد از طرف دیگر منحنی p-e که مسئله پایداری از روی آن قابل بررسی می‌باشد با پارامترهای ولتاژ رابطه دارد لذا با استفاده از روش یکی کردن دو منحنی فوق و منحنی معادلات پخش بار در سه نقطه یا در سه سطح بار در یک محور مختصات می‌توان حداکثر قدرت بارگیری اولیه را تخمین بزنیم (λ). با انجام روش تکرار می‌توانیم مقدار واقعی λ را محاسبه کنیم[2].
(λ ضريب يا فاكتور سطح بار ميباشد و تابعي از p است)

۱-۱ - تشریح خاصیت منحني p- e

براي يك سيستم قدرت با ۲ شين بهصورت شكل (۱) كه در آن پارامترهای ولتاژ، بار و ژنراتور مشخص شده است معادلات زير را داريم.



شکل۱- سیستم قدرت با دو شین که در آن ولتاژ ژنراتور ثابت و زاويه ولتاژ صفراست.

معادلات توان حقيقي وموهومي سيستم فوق بهصورت زير ميباشد:

$$P_L = -\frac{E}{X} V Sin\theta = -\frac{E}{X} f \qquad (۱)$$

$$Q = \frac{-V^2 + EV\cos\theta}{X} = \frac{-(e^2 + f^2) + Ee}{X} \qquad (۲)$$

در معادله(۱)، f مؤلفه موهومي ولتاژ V ميباشد كه باتوان حقيقي P_L نسبت مستقيم دارد و مي‌توان نوشت كه:

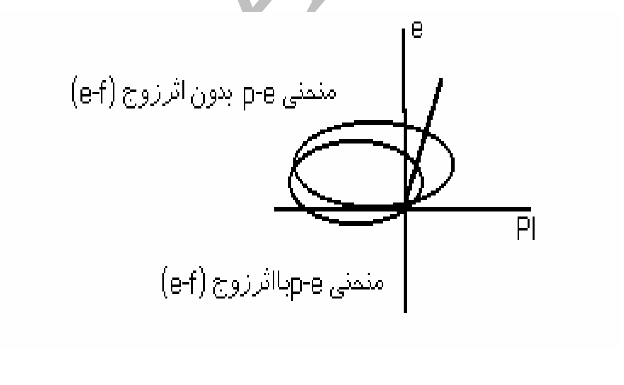
$$f = KP_L \qquad (۳)$$

با فرض ثابت بودن ضريب قدرت وجايگزيني رابطه (۳) در معادله (۲) و با توجه به رابطه $Q_L = \alpha P_L$ چنانچه بار را افزايش دهيم داريم.

$$\alpha p_l = \frac{-(e^2 + K^2 P_L^2) + Ee}{X} \qquad (۴)$$

با مرتب كردن معادله (۴)، معادله بيضي منحني p-e بهصورت معادله (۵) بهدست مي‌آيد كه در شكل (۲) نشان داده شده اند.

$$e^2 - Ee + K^2 P_L^2 + \alpha X P_L = 0 \qquad (۵)$$



شكل ۲- منحني p-e با توجه به اثر زوج e-f

چنانچه زاويه روتور ژنراتورصفرنباشد، (زاوية ولتاژ) تغييرات دامنه و زاويه ولتاژ شين مقصد باعث تغييراتي در شكل بيضي معادلـه (۵) ميگردد و عملاً يك منحني بيضي ديگري را ايجاد ميكند به اين اثر تأثير زوج (e-f) گويند. اين زوج تناسب بينP و f را بههم ميزند و باعث اعوجاج در بيضي (p-e) ميشود. كه بهمنظور محاسبه دقيقتر سطح بار بايد اين اثر خنثي شود.

۲-۱- حذف اثر زوج (e - f)

در مختصات قطبي متغيرهاي e و f برحسب V و θ بهصورت زير نوشته ميشود:

$$e_i = V_i Cos\theta \qquad f_i = V_i Sin\theta \qquad (۶)$$

فرض كنيد كه اثر زوج e-f براي شين ژنراتور (i) بهعنوان مرجع بررسي شود زاوية ولتاژ شين i را θ_{is} تعريف نموده و با تغيير زاويه ولتاژ Vi به اندازه $-\theta_{is}$ ميتوانيم اثر زوج e-f را حذف نماييم. اگر مقادير e', f' مقادير جديد زاويه و اندازة ولتاژ Vi بعد از چرخش باشند، روابط بين مقادير e-f و e', f' بهصورت زير در ميآيد:

$$\begin{bmatrix} e_i' \\ f_i' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cos\theta_{iS} & Sin\theta_{iS} \\ -Sin\theta_{iS} & Cos\theta_{iS} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

با انجام دو سري پخش بار براي حالت پايدار و ناپايدار در شين i مقدار θ_{is} و همچنين مقادير $e_{i1} + jf_{i1}$ و $e_{i2} + jf_{i2}$ در يك سطح بار بهدست ميآمد بنابراين مقادير جديد f'_{i1} , f'_{i2} كه متناسب با P_L ميباشند برابراست با:

$$f'_{i1} = -e_{i1}Sin\theta_{is} + f_{i1}Cos\theta_{is} = -e_{i2}Sin\theta_{is} + f_{i2}Cos\theta_{is} = f'_{i2} \qquad (۸)$$

از معادلة شمارة (۸) مقدار زاويه چرخش θ_{is} بهآساني از رابطه زير محاسبه ميگردد.

$$\theta_{is} = \tan^{-1}\left(\frac{f_{i1} - f_{i2}}{e_{i1} - e_{i2}}\right) \qquad (۹)$$

مقدار زاويه چرخش θ_{is} براي هر شين بايد محاسبه و در معادلات مربوطه اصلاح گردد. با استفاده ازمعادلات (۷) و (۹) ولتاژهاي جديد e', f' با توجه به حذف اثر زوج e-f قابل محاسبه بوده كه در معادلات بعدي بايد در نظر گرفته شود تا ضمن تغيير نكردن منحني p-e با دقت بيشتري حداكثر توان بارگيري تخمين زده شود.

۳-۱- تخمين حداكثر توان بارگذاري و ارائه فرمول محاسباتي

معادله استاتيك توان انتقالي درسيستم قدرت برابر با:

$$f(x) - \lambda b = 0 \qquad (۱۰)$$

كه در آن x بردار ولتاژ شينها برحسب (e-f)، f(x) معادله درجه دوم متناسب با توان انتقالي و هم وزن معادله شماره (۱)، λ پارامتر كنترلي و نشان دهنده سطح بار سيستم و b بردار اختلاف بين توليد قدرت و سطح بار حداكثر در دو حالت اضطراري و عادي شبكه ميباشد. بردار**b** با روش تخمين و پيشبيني بار قابل محاسبه ميباشد. هدف پيدا كردن مقدار حداكثر سطح بار λ_{max} كه شامل بردار b در نقطه كار ميباشد كه با استفاده از آن ميتوان حد نهائي بار برحسب مگاوات يا مگاوار را بين نقطه كار و نقطه شكست ولتاژ پيداكرد. براي شروع با يك پيشبيني اوليه بار عمليات را انجام ميدهيم تا مقدار حداكثر بارنهائي محاسبه گردد. ابتدا با سه سطح بار مختلف بهصورتي كه $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$، باشد سه پخش بار انجام داده و مقادير X_1, X_2, X_3 محاسبه ميشوند. در مرحله بعد با خطي كردن متغييرها در نقطه كار (λ_0, x_0) مقادير مشتقهاي $\dot{X}_1, \dot{X}_2, \dot{X}_3$ را محاسبه ميكنيم بنابراين:

$$f_x \Delta X + -b\Delta\lambda = 0 \qquad \lambda - \lambda_0 = \Delta\lambda \qquad X - X_0 = \Delta X \qquad (۱۱)$$

اگر ماتريس ژاکوبين سيستم قدرت يعني ($f(x)$) ويژه نباشد، مقدار مشتق ($\dot{X}$) مستقيماً از معادله (١١) بهصورت زير قابل محاسبه مي‌باشد:

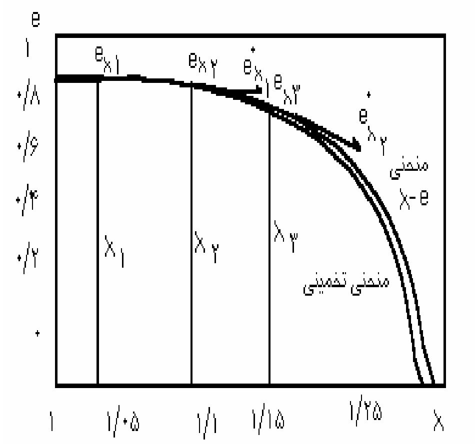
$$\dot{X} = \frac{dx}{d\lambda} \cong \frac{\Delta x}{\Delta \lambda} = \frac{X_2 - X_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = f_x^{-1} b \qquad (۱۲)$$

که در آن X_1, X_2 مقادير ولتاژ شين در دو سطح بار λ_1, λ_2 ميباشند. معادله (۱۲) تا زماني که به نقطه شکست نزديك نشدهايم ماتريس ژاکوبين ويژه نيست و معادله فوق قابل محاسبه ميباشد. با توجه به خاصيت منحني p-e و استفاده از تجزيه و تحليل حساسيت، ولتاژ متأثرترين شين را نسبت به تغييرات ولتاژ و يا بهعبارت ديگر ضعيفترين شين را با توجه به فرمول زير پيدا ميکنيم. در اين فرمول V_i ولتاژ شين مورد نظر ميباشد.

$$\frac{1\partial V_i}{V_i \partial \lambda} \approx \frac{\left(V_i\big|_{\lambda=\lambda_3} - V_i\big|_{\lambda=\lambda_2} \right)}{V_i(\lambda_3 - \lambda_2)} \qquad (۱۳)$$

با استفاده از معادله (۱۳) ضعيفترين شين انتخاب ميشود و آن را با i نشان ميدهيم. در اين شين حداکثر سطح بار سيستم $\lambda_{\max}$ با روش يکي کردن منحني $\lambda - e$ با منحني معادله درجه دوم پخش بار سيستم در سه سطح بار و يا در واقع در سه نقطـه، تخمين زده ميشود. شکل (۳) لذا معادله منحني بيضـي ($\lambda - e$) بهصورت فرم عمومي زير با پنج ضريب قابل توصيف ميباشد:

$$\lambda^2 + \alpha\lambda e_i^2 + \beta e_i^2 + \gamma\lambda + \xi e_i + \psi = 0 \qquad (۱۴)$$



شکل ۳- يکي کردن دو منحني بيضي سيستم قدرت و منحني $\lambda - e$

چنانچه از معادله (۱۴) نسبت به λ مشتق گرفته شود، معادله زير حاصل ميشود:

$$2\lambda + \alpha(e_i + \lambda\dot{e}_i) + 2\beta e_i \dot{e}_i + \gamma + \xi\dot{e}_i = 0 \qquad (۱۵)$$

جهت محاسبه پنج ضريب معادله (۱۴) نياز به اطلاعات سه پخش بارگفته شده با سه سطح بار مختلف و همچنين مشتق معادلـه فوق در دو سطح بار مـيباشد. با داشتن ضرابت معادلـه (۱۴) و استفاده از معادله (۱۲) معادله (۱۵) بهسادگي قابل حل ميباشد. چنانچه معادله (۱۴) را برحسب e_i مرتب کنيم داريم:

$$\beta e_i^2 + (\alpha\lambda + \xi)e_i + \lambda^2 + \gamma\lambda + \psi = 0 \qquad (۱۶)$$

از آنجائي که در معادله درجه دوم (۱۶) متغيير e_i بايد داراي جواب حقيقي باشد، لذا بايد دترمينان رابطه (۱۶) بزرگتر يا مساوي صفر باشد. يعني:

$$D = (\alpha^2 - 4\beta)\lambda^2 + 2(\alpha\xi - 2\beta\gamma)\lambda + \xi^2 - 4\beta\psi \geq 0 \qquad (۱۷)$$

از معادله شماره (۱۷) ميتوان حداکثر سطح بار $\hat{\lambda}_{\max}$ را براي D=0 بهصورت زير محاسبه نمود.

$$\hat{\lambda}_{Max}=\frac{(2\beta\gamma-\alpha\xi)-\sqrt{(2\beta\gamma-\alpha\xi)^2-(\alpha^2-4\beta)(\xi^2-4\beta\psi)}}{\alpha^2-4\beta}$$

(۱۸)

محاسبه جواب ديگر D=0 چون داراي مقداري كوچكتر از $\hat{\lambda}_{\max}$ ميباشد لزومي ندارد. جهت محاسبه دقيق مقدار $\hat{\lambda}_{\max}$ از روش ساده نيوتن-رافسون يعني پخش بار با يك λ اوليه شروع نموده و در ادامه تخمين را با مقادير جديد λ تكرار ميكنيم. چنانچه در محاسبات مقدار $\hat{\lambda}_{\max}$ محاسبه شده مرحله جديد بيشتر از $\hat{\lambda}_{\max}$ محاسبه شده در مرحله قبل باشد با استفاده از پخش بار اصلاح شده نيوتن-رافسون كه به آن يك معادله افزوده شده معادله (۱۹) و يكي از متغييرها نيز تعريف و مشخص شدهاند، مراحل تكرار را ادامه داده تا زمانيكه تخمينها با توجه به رابطه $\left|\lambda_{\max}^{k+1}-\lambda_{\max}^{k}\right|\leq\varepsilon$ همگرا شوند. در اين حالت مقدار e_i مربوط به ضعيفترين شين (i) به اينصورت تعريف ميشود.

$$e_i-\dot{e}_i=0 \qquad (۱۹)$$

كه در آن $\dot{e}_i$ ريشه معادله (۱۶) هنگامي كه $\lambda=\hat{\lambda}_{\max}$ است، ميباشد.

بهطور كلي مراحل تخمين بهصورت زير خلاصه ميشود:

۱) انجام پخش بار در حالت اصلي و در نقطه كار سيستم، يعني λ_1.

۲) انتخاب دو سطح بار λ_3 و λ_2 انجام پخش بار و محاسبه $\frac{de_i}{d\lambda}$ در سطح بار λ_2 و λ_3 و انتخاب ضعيفترين شين با توجه به معادله (۱۳).

۳) محاسبه پنج ضريب معادله (۱۴) با توجه به اطلاعات $\dot{e}_i$ و e_i و مقدار λ و سپس تخمين حداكثر سطح بار $\lambda_{\max}$ از معادله (۱۸).

۴) اندازهگيري مقدارخطا، يعني: $\left|\lambda_{\max}^{k+1}-\lambda_{\max}^{k}\right|\leq\varepsilon$، چنانچه رابطه برقرار نبود پخش بار اصلاح شده با يك معادله اضافي يعني معادله (۱۹) بايد اجرا شود.

۵) تكرار مراحل ۳ و ۴ تا زماني كه نتايج تخمين همگرا شوند.

بايد توجه داشت كه روش پيشنهادي فوق بهطور قوي به انتخاب شين ضعيف و خنثي كردن اثر زوج e-f در معادله (۱۴) بستگي دارد. براي اجراي روش فوق به دو صورت ميتوان بار را تغيير داد. حالت اول اينكه تغييرات بار با ثابت بودن ضريب قدرت انجام گيرد. در اين حالت فرض بر اين است كه عدم تعادل توان را شين مرجع تأمين ميكند. اين طرح با آنكه غيرعملي است اما با روش پيشنهادي فوق تقريباً جواب مناسبي را ميدهد. در حالت دوم هم بار و هم توليد با هم تغيير مينمايند. اين حالت با آنكه عمليتر بهنظر ميرسد اما جهت محاسبه پايداري ولتاژ حالت بسيار پيچيدهاي است و بايد توجه داشت كه در حالت $\lambda=1$، مصرف و توليد در سيستم يكسان ميباشند و تخمين دقيق حداكثر سطح بار به مقدار اوليه تخميني $\lambda_{\max}$ و مقدار محاسباتي $\hat{\lambda}_{\max}$ مرحله بعدي بستگي دارد.

۴-۱- آزمايش عملي روي شبكه استاندارد IEEE

شبكة ۱۴ شينه IEEE بهعنوان شبكة نمونه جهت انجام روش فوق انتخاب شده است. در اين شبكه بارهاي تأثيرگذار بر يكي از خطوط خروجي شين ۵ را قطع كرده (خطوط ۲، ۴ و ۶) و سطح بار خط۱ شين ۵ را با توجه به سه سطح بار محاسبه شده اوليه افزايش ميدهيم با انجام پخش بار در سه سطح بار فوق و محاسبه ولتاژهاي و بهكار بردن معادله شماره (۱۴) ضرايب و نهايتاً سطح بار ماكزيمم را محاسبه مينماييم. نتايج انجام آزمايش در جدول شماره (۱) ضميمه ارائه شده است. در اين حالت بار كليه خطوط به نسبت ۲,۷ افزوده شده و بهعنوان اولين تخمين در محاسبات بكار برده شده است. شين ضعيف شين ۵ ميباشد و حداكثر سطح بار برابر با ۴,۵۴۱ است.

۵-۱- آزمايشعمليرويشبكه برقمنطقهايفارس

روش ارائه شده فوق روي قسمتي از شبكه برق منطقهاي فارس تست شده ا ست.

آزمايش اول: قسمتي از شبكه برق فارس مطابق شكل شماره (۱) ضميمه انتخاب ميشود براي بدترين حالت ممكنه خطوط تأثيرگذار بر بار خط مشخص (N-Fars-Shiraz) شيراز-نيروگاه

فارس را قطع میکنیم (خط۸۲۷) و با استفاده از پخش بار ماكزيمم بار عبوري از اين خط محاسبه و بهعنوان تخمين اوليه در محاسبات بعدي بهكار ميبريم نتايج در جدول شماره (۲) ضميمه آمده است. در مرحله بعد ظرفيت خط مورد نظر را با تغيير و افزايش بار خطوط تأثير گذار بر خط مذكور در سه حالت بالا برده و نتا يج بخش بار را با استفاده از نرمافزار سبا استخراج میکنیم اين سه حالت سطح بار شامل حالت عادي ($\lambda = 0$) نقطه كار سيستم، حالتي بين نقطه كار و نقطه ماكزيمم ($\lambda = 1.605$) با توجه به سطح بار تخميني اوليه محاسبه شده ($\lambda = 1.2$) و يك نقطه بين اين دو ($\lambda = 1$)، ميباشد. با استفاده از نتايج پخش بارهاي فوق ضرايب و نهايتاً $\hat{\lambda}_{\max}$ جديد مرحله دوم محاسبه ميشود. با سطح بار جديد و دو سطح بار مرحله قبل مراحل بعدي انجام ميگردد. نتايج حاصل از محاسبه سطح بار ماكزيمم $\hat{\lambda}_{\max}$ در جدول شماره (۳) ضميمه آمده است.

جدول ۱- نتايج حاصل از انجام محاسبه ماكزيمم سطح بار براي يك سيستم ۱۴ شينه استاندارد
IEEE باس ضعيف باس شماره ۵ ميباشد و ماكزيمم سطح بار برابر با ۴/۵۴۱ است.

مقادير محاسبه شده با روش جديد براي سيستم ۱۴ شينه استاندارد				
λ_1	λ_2	λ_3	$\hat{\lambda}_{\max}$	خطا
۱/۰۰	۲/۶۰۰	۲/۷۰۰	۴/۷۸۵	۲/۰۸۵
۲/۶۰	۲/۷۰۰	۴/۷۸۰	۴/۵۶۳	۰/۲۲۲
۲/۷۰	۴/۷۸۰	۴/۵۶۰	۴/۵۴۶	۰/۰۱۷
۴/۷۸	۴/۵۶۰	۴/۵۴۰	۴/۵۴۱	۰/۰۰۱

جدول ۲- نتايج پخش بارقطع چندين خط KV ۲۳۰ قسمتي از شبكه برق فارس وتأثيرآن روي قدرت عبوري خط
۲۳۰KV شيراز ۱- نيروگاه فارس در باس ۲۳۰KV شيراز

حالت	قطع خط	قبل از قطع			بعد از قطع			λ نسبت دوحالت
		P (MW)	Q(MVAR)	S (MVA)	P(MW)	Q(MVAR)	S(MVA)	
نيروگاه فارس - شيراز۱	مرودشت- نيروگاه فارس	۱۵۷/۹	۲۴/۲۹	۱۵۹/۸	۱۷۷/۳	۳۲/۲	۱۸۰/۲	۱/۱۲۷
نيروگاه فارس - شيراز۱	نيروگاه فارس- شيراز۲	۱۵۷/۹	۲۴/۲۹	۱۵۹/۸	۲۱۹/۲	۳۲/۷	۲۲۱	۱/۳۸۹
نيروگاه فارس - شيراز۱	دهنو - نيروگاه فارس	۱۵۷/۹	۲۴/۲۹	۱۵۹/۸	۲۵۰/۸	۵۴/۳۸	۲۵۶/۶	۱/۶۰۵
نيروگاه فارس - شيراز۱	شيراز – دهنو	۱۵۷/۹	۲۴/۲۹	۱۵۹/۸	۱۸۵/۳	۲۹/۶	۱۸۷/۷	۱/۱۷۲

جدول ۳- نتايج برنامه محاسبه ماكزيمم سطح بار براي شبكه نمونه برق فارس (باس ضعيف باس۲۳۰ شيراز ۱ ميباشد

و $\hat{\lambda}_{max}$ براي آن برابر با ۱/۹۸۱۴) وخط انتقال شيراز ۱- نيروگاه فارس (خروجي برنامه مطلب)

تعداد مراحل تست	λ_1	λ_2	λ_3	$\hat{\lambda}_{max}$	خطا
۱	۰	۱	۱/۲	۱/۷۶۵۹	۱/۷۶۵۹
۲	۱	۱/۲	۱/۷۶۵	۱/۸۳۱۱	۰/۱۱۱۱
۳	۱/۲	۱/۷۶۵	۱/۸۳۱	۱/۹۴۲۲	۰/۰۶۵۲
۴	۱/۷۶۵	۱/۸۳۱	۱/۹۴	۱/۹۸۰۵	۰/۰۳۸۳
۵	۱/۸۳۱	۱/۹۴	۱/۹۸	۱/۹۸۱۴	۰/۰۰۰۹

با توجه به جدول شماره (۳) در هر مرحله محاسبه سطح بار مقدار خطاي مرحله قبل با مرحله جديد محاسبه شده و در مرحلهاي كه خطا كمتر از ۰/۰۱ بوده عمليات متوقف شده است. ملاحظه ميشود كه ماكزيمم سطح بار بهدست آمده تقريباً دو برابر مقدار تخمين اوليه ميباشد. بنابراين روش جديد با تقريب نسبتاً مناسبي ميتوان بهعنوان حداكثر سطح بار خط انتقال نيروگاه فارس–شيراز ۱ تخمين زد.

۲- نتيجه‌گيري

اطلاع دقيق از مقدار ظرفيت واقعي خطوط يكي از عوامل مهم در بهرهبرداري از سيستم قدرت ميباشد. حداكثر ظرفيت عبوري از خطوط با توجه به محاسبات پايداري ولتاژ براي خطوط بلند و تبادل حرارتي هادي در خطوط كوتاه محاسبه مي‌شود يكي از عمدهترين مشكلاتي كه در اثر بارگيري بيش از حد از خطوط پيش مي‌آيد فروپاشي ولتاژ شين‌هاي حساس به ولتاژ يك طرف و از طرف ديگر ازدياد حرارت هادي‌ها ميباشد. محاسبه حداكثر جريان خطوط اين امكان را ميدهد كه ظرفيت ذخيره خطـوط و تعـداد خطوط پربار را شناسائي نموده و قبل از آسيب ديدن سيستم، اقدامات اصلاحي لازم در مورد افزايش ظرفيت خطوط را به مرحله اجراء در آوريم. روش جديد محاسبه ظرفيت بارگيري خطوط با استفاده از خاصيت منحني p-e علاوه بر محاسبه دقيق ظرفيت، مقدار ظرفيت حرارتي را نيز پوشش ميدهد و ميتوان از مقدار محاسبه شده بهعنوان يك تخمين مناسب استفاده نمود. اين روش مبتني بر رعايت پايداري ولتاژ

در ضعيفترين شينهاي شبكه با استفاده از خاصيت منحني p-e ميباشد.

مراجع

[1] Y.H Moon & B.K Choi & T.S Lee "Estimation of Maximum Loadability in Power System by Using Elliptic Propertier of P-e Curve", IEEE Trans On Power System, 1999.

[2] H.D Chiang, A.J. Flueck, K.S Shah "CPFLOW: A Practical Tool for Tracing Power System Steady-State Stationary Behavior Due to Load and Generation Variation", IEEE Trans. On Power System, VOL. 10, No.2, pp. 623-634, May 1995.