تعیین سطح مقطع کابلهای فشار متوسط در حضور بارهای غیر خطی با استفاده از تئوری تصمیم

خلیل بانان علی عباسی **علی فارسی**

مجتمع عالی آموزشی و پژوهشی صنعت آب وبرق آذربایجان

مرکز ملی آموزش مدیریت انرژی

واژه های کلیدی: سطح مقطع کابل, بار غیر خطی, تئوری تصمیم، ماتریس تصمیم گیری, تابع هزینه

چکیده

تئوری تصمیم از مباحثی است که در طول دو دهه اخیر رشد بسیار سریعی داشته و بویژه در بخش اقتصاد و تجارت تحولات شگرفی ایجاد کرده است. در حال حاضر این علم مراحل پیشرفت خود را می گذراند. این تئوری به تصمیم گیرنده این قدرت را می دهد که علیرغم وجود شرایط نامعین, تصمیم صحیح را اتخاذ کند.

این مقاله به بیان روش تعیین سطح مقطع بهینه کابلهای فشار متوسط با وجود بارهای غیر خطی و در شرایط نامعین با استفاده از تئوری تصمیم می پردازد. به این منظور پس از بیان چگونگی تعیین تابع هزینه کلی کابل در شرایط غیر سینوسی و بیان روش تشکیل ماتریس تصمیم گیری، از آن در تعیین سطح مقطع بهینه کابل در یک نمونه عملی استفاده شده است.

۱- مقدمه

تعیین سطح مقطع کابلهای فشار متوسط بایستی از دیدگاه فنی و اقتصادی مورد توجه قرار گیرد. با این حال اغلب مواقع طراحی اندازه کابل تنها بر مبنای مسایل فنی (حداکثر جریان و افت ولتاژ مجاز) انجام می پذیرد. در حالیکه مهندسین طراح بایستی اقتصادی ترین طرح را جهت احداث کابل ارائه نمایند روشهای مختلفی برای تحلیل اقتصادی طرح ها و انتخاب اقتصادی ترین گزینه وجود دارد. متداولترین روش استفاده از تحلیل اقتصاد مهندسی می باشد. این روش در مواردی همچون تعیین سطح مقطع کابلها در حالیکه ترکیب بار آن مشخص نبوده و شرایط نامعین است کارایی چندانی ندارد. تئوری تصمیم برای انتخاب گزینه بهینه در شرایط نامعین کارایی زیادی داشته و روش مناسبی می باشد.

این مقاله به بیان روش تعیین سطح مقطع بهینه کابلهای فشار متوسط با وجود بارهای غیر خطی و در شرایط نامعین

می پردازد به این منظور پس از بیان چگونگی تعیین تابع هزینه کلی کابل در شرایط غیر سینوسی، از تئوری تصمیم در تعیین سطح مقطع کابل, در یک نمونه عملی استفاده شده است.

۲- تعیین سایز کابل با استفاده ازتابع هزینه

در این روش در تعیین سطح مقطع مناسب، کابلی انتخاب می شود که دارای کمترین هزینه تمام شده باشد. بدین منظور ابتدا تابع هزینه کلی کابل تعیین می گردد. این تابع به پارامترهای زیر بستگی دارد:

۱- هزینه سرمایه گذاری اولیه (IC)

۲- هزینه تلفات انرژی (EC)

۳- هزینه تلفات دیماندی(DC)

۴-هزینه تلفات وابسته به ولتاژ

تلفات وابسته به ولتاژ، مانند جریان شارژ و تلفات دی الکتریک (عایقی) در بسیاری از انواع کابلهای توزیع قابل صرف نظر بوده و در این مقاله نیز هزینه های ناشی از آن در محاسبه تابع هزینه لحاظ نمی گردد. بدین ترتیب تابع هزینه کلی کابل با ابعاد مشخص و در شرایط سینوسی به صورت رابطه ۱ بیان می گردد

$$F = IC + EC + DC \qquad (۱)$$

در شرایط وجود بارهای غیر سینوسی، اثرحضور هارمونیک های جریان نیز بایستی در تلفات انرژی و تلفات دیماندی و هزینه های متناظر مورد توجه قرار گیرد.

هزینه سرمایه گذاری اولیه برای یک خط فرضی به طول L شامل هزینه های ثابت و متغیر وابسته به ابعاد کابل می باشد. این هزینه با رابطه ۲ بیان می گردد.

$$IC = L(A \times S + C) \qquad (۲)$$

که در آن C جزء ثابت و A جزء متغیر هزینه واحد طول کابل است که بستگی به سطح مقطع (S) کابل دارد.

در محاسبه هزینه تلفات انرژی و هزینه دیماند بایستی تاثیر جریان کابل در هارمونیکهای مختلف, بهای واحد انرژی و دیماند کاهش زمانی ارزش پول (تنزل) مورد توجه قرار گیرد.

برای این منظور می توان از روابط ۳ و۴ برای محاسبه هزینه تلفات انرژی و هزینه دیماند استفاده کرد.

$$EC = L\ N_P \sum_{n=1}^{N} \frac{P(n)\sum_{f=1}^{8760}\sum_{h=1}^{H} R_h(S) I_h^2(t,n)}{(1+i)^{n-1}} \qquad (۳)$$

$$DC = L\ N_P \sum_{n=1}^{N} \frac{D(n)\sum_{h=1}^{H} R_h(S) I_{h,M}^2(n)}{(1+i)^{n-1}} \qquad (۴)$$

در این روابط:

N_p تعداد هادی های فاز.

i سطح تنزل.

$P(n)$ بهای واحد انرژی الکتریکی.

$D(n)$ بهای واحد تلفات دیماندی.

$I_h(t,n)$ مقدار موثر جریان هارمونیک h ام در ساعت t ام.

$I_h.M(n)$ جریان هارمونیک h ام در شرایط ماکزیمم تلفات قدرت

در روابط ۳و ۴ برای تعیین مقدار $R_h(S)$ از رابطه ۵ استفاده می شود.

$$R_h(S) = \frac{P_{20}}{S}\left[1 + a_{20}(\theta_m - 20)\right] \times \left[1 + Y_{hs}(S) + Y_{hp}(S)\right]\left[1 + \lambda_{h1}(S) + \lambda_{h2}(S)\right] \qquad (۵)$$

$$\theta_m = \theta_{amb} + \frac{\theta_{\max} - \theta_{amb}}{3}$$

که در آن:

Y_{hp} ضریب اثر پوستی

Y_{hs} ضریب همجواری

λ_{h2} حد تلفات در غلاف آهنی

λ_{h1} حد تلفات در زره

θ_{max} ماکزیمم درجه حرارت مجاز هادی

θ_{amb} درجه حرارت مجاز محیط

بسیاری از این پارامترها به سطح مقطع هادی وابسته بوده و در فرکانس متناظر با هارمونیک h ام بدست آمده اند.

با ادغام روابط ۲ تا ۵ تابع هزینه کلی کابل طبق رابطه ۶ بدست می آید.

$$F = L(AS + C) + LN_p\left[\sum_{n=1}^{N}\frac{P(n)}{(1+i)^{n-1}}\sum_{h=1}^{H}R_h(S)\sum_{t=1}^{8760}I_h^2(t,n) + \sum_{n=1}^{N}\frac{D(n)}{(1+i)^{n-1}}\sum_{h=1}^{H}R_h(S)I_{h.,M}(n)\right] \qquad (۶)$$

در رابطه ۶ $P(n)$ و $D(n)$ هزینه واحد انرژی الکتریکی و دیماند در سال n ام می باشند. این مقادیر روابط ۷ و ۸ بدست می آیند.

$$P(n) = P_0(1+b)^{n-1} \quad (۷)$$

$$D(n) = D_0(1+c)^{n-1} \quad (۸)$$

در این روابط:

b ضریب رشد سالانه هزینه واحد انرژی الکتریکی

c ضریب رشد سالانه هزینه واحد تلفات دیماندی

P_0 بهای واحد انرژی الکتریکی در سال اول

D_0 بهای تلفات دیماندی در سال اول

حال با در نظر گرفتن اثر افزایش هزینه انرژی و هزینه دیماند و اعمال روابط ۷و۸ میتوان رابطه ۶ را بصورت رابطه ۹ تکمیل کرد.

$$F = L(AS+C) + LN_p\Big[P_0\sum_{n=1}^{N}\frac{(1+b)}{(1+i)^{n-1}}\sum_{h=1}^{H}R_h(S)\sum_{t=1}^{8760}I_h^2(t,n) + D_0\sum_{n=1}^{N}\frac{(1+C)^{n-1}}{(1+i)^{n-1}}\sum_{h=1}^{H}R_h(S)I_{h.M}(n)\Big] \quad (۹)$$

در این رابطه پارامترهایی مانند طول کابل، مقاومت کابل و هزینه واحد انرژی و دیماند در سال اول کاملا مشخص بوده، لیکن عواملی موجب عدم اطمینان در محاسبه هزینه تمام شده کابل می گردد، این عوامل ضرایب مالی (i و b و c) از یک سو و منحنی بار و هارمونیکهای جریان بار از سوی دیگر می باشد.

در واقع استفاده از تابع هزینه برای تعیین سطح مقطع کابلها همواره با عدم اطمینان دست به گریبان خواهد بود، چرا که حتی در صورت مشخص بودن منحنی بار در آینده میزان هارمونیکهای بار نامعین خواهد بود و این امر تصمیم گیری را برای طراح مشکل می نماید.

۳- استفاده از تئوری تصمیم در تعیین سایز کابل

تئوری تصمیم یک روش مناسب برای تصمیم گیری در شرایط نامعین می باشد. در این روش تعدادی طرح برای انجام یک پروسه مطرح می باشد و برای هر طرح معیارهای متفاوتی می تواند مورد توجه قرار گیرد.

در تعیین اندازه کابلهای سیستمهای توزیع در شرایط غیر سینوسی با توجه به اینکه ترکیب بار عبوری از کابل مشخص نیست طرحهای مختلفی مطرح می باشد. بنابراین انتخاب کابل مناسب در یک مسیر فرآیند تصادفی داشته و لزوم استفاده از تئوریهای خاصی نظیر تئوری تصمیم مطرح می گردد.

در صورتیکه برای یک طرح به تعداد M_a گزینه مختلف برای تعیین سطح مقطع کابل (S_i) وجود داشته باشد. همینطور برای تعیین سطح مقطع کابلها در حضور بارهای غیر خطی، فرض می شود که به تعداد M_s حالت ممکن برای ترکیب هارمونیکی بار وجود داشته باشد، که این حالات با G_k $(k=1,2,...,M_s)$ نمایش داده می شوند. اولین گام در بکارگیری تئوری تصمیم تشکیل ماتریس تصمیم می باشد. ساختار ماتریس تصمیم مطابق جدول ۱ می باشد. ردیف های ماتریس گزینه های مختلف انتخاب سطح مقطع و ستون ها, حالتهای مختلف ترکیب بار را نشان می دهند.

جدول ۱ ساختار ماتریس تصمیم گیری

	G_1	G_2	...	G_k	...	G_{Ms}
S_1	F_{11}	F_{21}	...	F_{1k}	...	F_{1Ms}
S_2	F_{21}	F_{22}	...	F_{2k}	...	F_{2Ms}
⋮	⋮	⋮	⋯	⋮	⋯	⋮
S_i	F_{i1}	F_{i2}	...	F_{ik}	...	F_{iMs}
⋮	⋮	⋮	⋯	⋮	⋯	⋮
S_{Ma}	F_{Ma1}	F_{Ma2}		F_{Mak}		F_{MaMs}

در این ساختار F_{ik} بیانگر کل هزینه کابل در صورت انتخاب گزینه i ام (با سطح مقطع S_i) برای k امین ترکیب بار هارمونیکی (G_k) می باشد.

برای تعیین هر F_{ik} در ماتریس تصمیم لازم است پارامترهای آماری میانگین $E(I_h(n))_k$ و انحراف استاندارد $\sigma(I_h(n))_k$ از تابع چگالی احتمال $(f_{I_h(n)})_k$ تعیین گردد.

($(f_{I_h(n)})_k$ تابع چگالی احتمال حالت ممکن k ام برای جریان هارمونیک مرتبه h ام در سال n ام می باشد. که بر اساس مطالعات و بررسیهای آماری بدست می آید)

بدین ترتیب رابطه ۷ را می توان به صورت رابطه ۱۰ نوشت[۴]

$$F_{ik} = L(AS_i + C) + LN_P\left[8760P_0\sum_{n=1}^{N}\frac{(1+b)^{n-1}}{(1+i)^{n-1}}\sum_{h}^{H}R_h(S_i)\left(\left(E[I_h(n)]_k\right)^2+\sigma^2[I_h(n)]_k\right) + D_0\sum_{n=1}^{N}\frac{(1+c)^{n-1}}{(1+i)^{n-1}}\sum_{h=1}^{H}R_h(S_i)\left(E[I_h(n)]_K + N_\sigma\sigma[I_h(n)]_k\right)^2\right] \quad (۱۰)$$

برای بررسی هزینه کلی لازم است تا احتمال وقوع هر یک از حالتهای ممکن ترکیب بار ($G_1 \dots G_{Ms}$) تعیین گردد. این احتمال با P_k نشان داده شده و بایستی در رابطه ۱۱ صدق کند.

$$\sum_{k=1}^{Ms} P_k = 1 \quad (۱۱)$$

با تشکیل ماتریس تصمیم و مشخص شدن احتمال وقوع هر یک از حالتهای ممکن, هزینه کلی کابل برای هر سطح مقطع کابل (S_i) از رابطه ۱۲ محاسبه می شود.

$$E[F(S_i)] = \sum_{k=1}^{M_s} P_k F_{ik} \quad (۱۲)$$

حالا تصمیم گیرنده بایست یک معیار تصمیم در انتخاب بهترین طرح را به کار برد. در روش مورد استفاده در این مقاله سطح مقطع بهینه (S_{opt}) گزینه ای است که کمترین مقدار مورد انتظار هزینه را طبق رابطه ۱۳ داشته باشد

$$\min_i(E[F(S_i)] = \min_i\left(\sum_{k=1}^{M_s} P_k F_{ik}\right) \Rightarrow S_{opt} \quad (۱۳)$$

بدین ترتیب تصمیم گیرنده برای هر سطح مقطع هزینه کلی را از روابط فوق می سنجد و سطح مقطع با کمترین بها را انتخاب می کند.

۴- مطالعه موردی

به عنوان نمونه عملی سطح مقطع کابل 20 kV به طول 100 m در کارخانه شیرین عسل تبریز با استفاده از تئوری تصمیم تعیین شده است. طیف هارمونیکی جریان فازهای یک خط از کارخانه در جدول ۲ آورده شده است. علاوه بر وجود هارمونیک, جریان فازها نیز نامتعادل می باشد[۵].

جدول ۲- طیف هارمونیکی جریان فازهای یک خط از کارخانه (درصد جریان اصلی فاز A)

	فاز A	فاز B	فاز C
جریان اصلی	100	91	107
مرتبه دوم هارمونیک	0	1.1375	1.177
مرتبه سوم هارمونیک	3.66	1.4105	3.0602
مرتبه پنجم هارمونیک	2.7	4.368	3.5952
مرتبه هفتم هارمونیک	1.82	2.093	1.7334

پارامترهای میانگین و انحراف استاندارد در جدول۳ آورده شده اند. پارامتر های این جدول بر اساس جریان فاز A برابر ۷۵ آمپر محاسبه شده است.

جدول ۳- پارامترهای آماری طیف هارمونیکی جریان فازها

h	$E[I_h]$ (A)	$\sigma[I_h]$
1	74.50	4.91
2	0.58	0.41
3	2.03	0.71
5	2.67	0.51
7	1.41	0.11

طرحهای مطرح در این مطالعه بر مبنای تغییر جریان اصلی فاز A با اعمال نامتعادلی و هارمونیک های مشابه مطابق جدول ۴ می باشد.

جدول ۴- طرحهای مطرح در مطالعه

حالتهای ممکن	G1	G2	G3	G4
جریان اصلی فاز A	25	50	75	100

همینطور گزینه های موجود برای تعیین سطح مقطع, استفاده از کابل با مقطع ۲۵ و ۳۵ و ۵۰ و ۷۰ و ۹۵ و ۱۲۰ و ۱۵۰ و ۱۸۵ و ۲۴۰و ۳۰۰ می باشد.

در این مطالعه ضریب رشد سالانه هزینه واحد انرژی و واحد تلفات دیماندی برابر ۱۰٪ (b=c=10%) و ضریب بهره ۱۵٪ در نظر گرفته شده اند. بهای واحد انرژی الکتریکی و تلفات دیماند در سال اول نیز بر اساس تعرفه برق صنعتی در سال

۸۴ (با اعمال ضریب پیک بار) در نظر گرفته شده است $P_0=200\ Rls/kWh$ و $D_0=11870\ Rls/kW$

هزینه خرید و نصب کابل 20 kv نیز براساس قیمت های بهمن ماه ۱۳۸۴ در جدول ۵ آورده شده است۰ مقاومت واحد طول کابلها با مقاطع مختلف نیز از رابطه ۵ با فرض درجه حرارت محیط $25°C$ و حرارت ماکزیمم $90°C$ محاسبه شده است.

جدول ۵ -هزینه خرید و نصب کابل 20 kv

سایز کابل	هزینه خرید و نصب (ریال)
3× 25	101000
3× 35	121000
3× 50	151000
3× 70	200000
3× 95	250000
3× 120	310000
3× 150	370000
3× 185	450000
3× 240	570000
3× 300	700000

بدین ترتیب ماتریس تصمیم گیری با استفاده از رابطه ۱۰ مطابق جدول ۶ تشکیل می گردد.

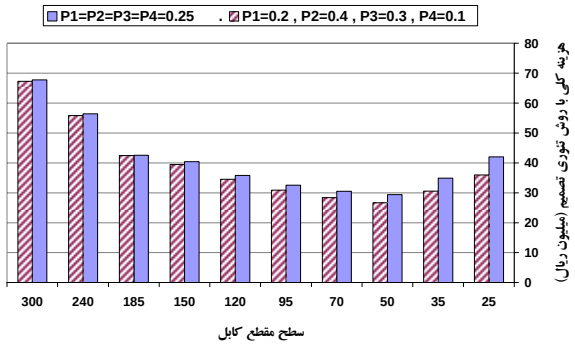
جدول ۶ - ماتریس تصمیم گیری (بر حسب میلیون ریال)

G4	G3	G2	G1	
64.12	40.48	23.60	13.48	25
50.70	33.81	21.75	14.51	35
39.25	28.69	21.14	16.61	50
38.41	29.96	23.93	20.31	70
38.33	32.10	27.66	24.99	95
40.39	35.45	31.92	29.81	120
44.11	40.17	37.35	35.66	150
42.83	42.51	42.28	42.15	185
58.73	56.27	54.51	53.45	240
69.61	67.63	66.23	65.38	300

برای محاسبه هزینه کلی دو ترکیب برای احتمال وقوع حالتهای مختلف در نظر گرفته شده است در ترکیب اول تمامی حالات G1 تا G4 احتمال وقوع مساوی دارند P1=P2=P3=P4=0.25 در ترکیب دوم احتمال وقوع متفاوت برای حالتها در نظر گرفته شده است بطوریکه P1=0.2 , P2=0.4 , P3=0.3 , P4=0.1 هزینه کلی برای ترکیب های مذکور در جدول ۷ آورده شده است .

جدول ۷- هزینه کلی ترکیب های احتمال وقوع حالتهای مختلف (میلیون ریال)

$E[F(S_i)]$		S_i
ترکیب دوم (احتمال وقوع نامساوی)	ترکیب اول (احتمال وقوع مساوی)	
30.69	35.42	25
26.82	30.20	35
24.31	26.42	50
26.46	28.15	70
29.52	30.77	95
33.41	34.39	120
38.54	39.32	150
42.38	42.44	185
55.25	55.74	240
66.82	67.21	300



شکل ۱- هزینه کلی ترکیب های احتمال وقوع حالتهای مختلف

بطوریکه مشاهده می شود در هر دوترکیب سطح مقطع $50mm^2$ بهینه می باشد لیکن هزینه آن در ترکیب احتمال دوم کمتر می باشد. توجه شود که از نظر فنی سطح مقطع $25\ mm^2$ برای این جریانها کافی می باشد. لیکن هزینه کلی کابل با در نظر گرفتن هزینه ناشی از تلفات انرژی برای این سطح مقطع بیشتر از کابل $50mm^2$ خواهد بود.

۵- نتیجه گیری

تئوری تصمیم یک روش مناسب برای تصمیم گیری در شرایط نامعین می باشد. در این روش تعدادی طرح برای انجام یک پروسه مطرح می باشد و برای هر طرح معیارهای

متفاوتی می تواند مورد توجه قرار گیرد. در این مقاله از این تئوری برای تعیین سطح مقطع بهینه کابلها در شرایط نامعین استفاده شده است. بر اساس بررسی نمونه عملی نشان داده شده است که با تئوری تصمیم با وجود شرایط نامعین نیز می توان به انتخاب گزینه بهینه اقتصادی دست یافت. چه بسا گزینه ای که با این روش انتخاب می شود در نگاه اول اقتصادی به نظر نرسد، لیکن در طولانی مدت گزینه بهینه خواهد بود.

۶- مراجع

[1]- P. Caramiai, G. Carpinelli, A. La vitola, P. vrrde "On the economic selection of cable size in non-sinusoidal conditions".

[2]- A. Papoulis "Probability, random variables and stochastic processes". New York, Mc Grow-Hill, 1991

[۳]- غلامحسین یاری-" آمار و احتمالات مهندسی" – ترجمه

[4]- P. Caramia, G. carpinelli, A. Russo, P. Verde – "Decision theory criteria for medium voltage cable sizing in presence of nonlinear loads" - ELSEVIER-2001.

[۵]- دکتر سید حسین حسینی- "بررسی هارمونیک های شهرک صنعتی شهید سلیمی و اثرات آن بر کیفیت توان منطقه"- سال ۱۳۸۰

[۶] احمد جوانشیر, "بررسی و تعیین سایز کابلهای فشار متوسط در حضور باهای غیر خطی" پایا ن نامه کارشناسی, ۱۳۸۲