

بهینه‌سازی مسیر هادی‌ها در محفظه فلزی تجهیزات برق با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر سازگاری الکترومغناطیسی

حسین حیدری^{۱*}، فرامرز فقیهی^۲، وحید عباسی^۳

۱- استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دانشجوی دکتری مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- دانشجوی دکتری مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

*تهران، صندوق پستی: ۱۶۸۴۶۱۳۱۱۴

heydari@iust.ac.ir

(دریافت مقاله: تیر ۱۳۸۶، پذیرش مقاله: تیر ۱۳۸۸)

چکیده- مسیریابی بهینه هادی‌ها در محفظه شامل تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی در راستای کارکرد صحیح و بدون اختلال سیستم، امروز به عنوان مبحث پیچیده‌ای مطرح شده است. میدان‌های تداخلی ناشی از جریان‌های بزرگ در برخی از تجهیزات درون محفظه و عملیات کلیدزنی، ولتاژ هادی‌ها را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد. این ناسازگاری الکترومغناطیسی عملکرد نادرست رله‌ها، ادوات فرمان و اندازه‌گیری را به دنبال خواهد داشت. در حالت معمول، تعیین مسیر بهینه هادی‌ها فقط شامل برقراری نوعی توازن بین دو پارامتر قیمت و افت ولتاژ است. حال آنکه بحث سازگاری الکترومغناطیسی (EMC)^۱ پارامتر سومی را در بهینه‌سازی مسیر مطرح ساخته و در نتیجه یافتن بهترین حالت از نظر نوع سیم (ساده- پوشش‌دار)، مدهای تفاضلی و مشترک (هادی‌های مجازی یا موجود) و کاندویت (گسسته- پیوسته) مسأله جدیدی را به میان می‌آورد که تاکنون با دقت مناسبی به آن پرداخته نشده است. در ضمن استفاده از کاندویت انتخاب چندگانه‌ای از مسیرها را پیش روی می‌گذارد که خود بهبود دو پارامتر اساسی دیگر یعنی قیمت و افت ولتاژ را دربرداشته و نقطه تمرکز این تحقیق محسوب می‌شود. دستاورد عمده این مقاله ارائه الگوریتم جامع جدیدی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر معیارهای سه‌گانه قیمت، افت ولتاژ و EMC برای تعیین مسیر بهینه هادی‌ها در محفظه‌های فلزی است.

کلید واژگان: تحلیل سلسله مراتبی، سازگاری الکترومغناطیسی، المان محدود، ترانسفورماتور تریق جریان،

میدان تداخلی

۱- مقدمه

میدان‌های مغناطیسی ناخواسته ناشی از تجهیزات جریان بالا، سبب ایجاد اختلال در عملکرد تجهیزات حساس از طریق القا در هادی‌های حامل ولتاژهای پایین می‌شوند. در هر محفظه فلزی مشتمل بر مجموعه‌ای از تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی و سیم‌های انتقال، موضوع سازگاری الکترومغناطیسی (EMC) اساس طراحی محسوب می‌شود [۱-۲]. با توجه به آنکه یکی از روشهای اختلال از طریق محیط انتقال است، روشهای ایجاد ایمن‌سازی انتقال در مقابل میدان‌های تداخلی مورد توجه قرار می‌گیرد [۳، ۴، ۵]. روشهای سنتی مقابله با ناسازگاری الکترومغناطیسی، بازبینی طراحی (مسیریابی مجدد)، مهار مد مشترک و پوشش مغناطیسی (شیلدینگ) است [۵-۶]. بهره‌گیری از کاندویت برای قرار دادن مجموعه هادی‌ها راهکار دیگری است که به نوعی پوشش گروهی و مهار مد مشترک را در پی دارد [۸]. روش دیگر حفاظت هادی‌ها در مقابل میدان تداخلی موضعی، استفاده از کاندویت در محل‌های دارای میدان زیاد است که از یک سو هزینه پوشش‌دهی را کاهش داده و از سوی دیگر انتخاب مسیر کوتاه‌تر از نظر کاهش افت ولتاژ را حتی ضمن گذر از نقاط بحرانی میدان تداخلی مهیا می‌سازد [۹]. در این مقاله انتخاب بهترین مسیر ایمن برای سیم‌های حامل ولتاژ و جریان در محفظه‌های فلزی مورد نظر است و با توجه به راهکارهای سنتی مقابله با ناسازگاری الکترومغناطیسی، انتخاب‌های متعددی از مسیرها را پیش روی داریم. در این مقاله الگوریتمی جامع مبتنی بر تحلیل فرایند سلسله مراتبی [۱۰-۱۱] ارائه شده که روش تصمیم‌گیری ساخت یافته داشته و علی‌رغم گزینه‌های متعدد و ماهیت‌های گوناگون معیارها، با استفاده از وزندهی معیارهای سه‌گانه برای هر مسیر احتمالی، بهترین انتخاب را ممکن می‌سازد. در این

روش، امکان بررسی صحت وزندهی در هر مرحله از طریق محاسبه ماتریس سازگاری سیستم وجود دارد و در نهایت تحلیل حساسیت کارایی نهایی را نشان می‌دهد. لذا با داشتن مشخصات الکترومکانیکی محفظه فلزی شامل مشخصات ابعادی و محل نصب تجهیزات اعم از جریان بالا (منابع) و حساس (قربانی) می‌توان بهترین مسیر هادی‌ها را تعیین کرد.

۲- EMC در هادی‌های درون محفظه فلزی

به منظور تبیین EMC لازم است منابع، محیط انتقال و قربانی‌ها در سیستم شناسایی شوند. با توجه به این‌که سیستم عبارت است از مجموعه تجهیزات برقی و الکترونیکی داخل محفظه فلزی، لذا جداسازی الکترومغناطیسی مناسبی از منابع بیرونی نوین وجود دارد؛ زیرا محفظه فلزی مانند یک پوشش مغناطیسی عمل می‌کند و تا حد زیادی از نفوذ میدان‌های تداخلی بیرونی جلوگیری می‌کند. مشابه این موضوع برای گذر میدان‌های تزاخمی از درون محفظه به بیرون وجود دارد. به بیان دیگر در شناسایی حدود EMC با تقریب قابل قبولی، می‌توان فقط مجموعه درون محفظه را از نظر EMC تحلیل کرد. در نگاه اول تجهیزات به دو گروه جریان بالا (قدرت) و جریان پایین (الکترونیکی-دیجیتال) دسته‌بندی شده است. بدیهی است که تجهیزات قدرت، به دلیل حمل جریان بزرگ، تولید کننده میدان مغناطیسی تشعشی برای ادوات الکترونیکی و کنترلی هستند. سیم‌هایی که برای حمل اطلاعات در سیستم استفاده می‌شوند و سیم‌هایی که حاوی سیگنال‌های نمایشگرها و اندازه‌گیری هستند به‌عنوان سیم‌های حساس در نظر گرفته می‌شوند؛ اینها تحت تاثیر میدان‌های تداخلی موجود قرار می‌گیرند. در این جا

حدود یک سانتیمتر صورت گیرد. روشهای دیگر مقابله با میدان‌های تداخلی، پوشش‌دار کردن سیم‌ها [۱۲-۱۳]، استفاده از کاندویت به منظور قرار دادن دسته‌ای از سیم‌ها در محفظه بسته [۸] یا استفاده از کابل مجازی موازی زمین شده برای حذف مد مشترک [۲] است. در بخش بعدی هر یک از روشها و روش ترکیبی بهینه معرفی شده است.

۳- معیارهای گزینش مسیر و نوع هادی‌ها در مقابله با میدان‌های تداخلی

با توجه به مطالب بالا، یافتن مسیر بهینه سیم‌ها با توجه به EMC، مسأله‌ای با معیارهای چندگانه است که در تصمیم‌گیری کاری پیچیده محسوب می‌شود. بنابراین در ابتدا لازم است معیارهای گزینش به درستی تعیین و ارزش هر یک از نظر فنی و اقتصادی با توجه به نوع مسأله مشخص شود. معیارهای اساسی EMC شامل موارد چهارگانه زیر است:

(الف) **مسیر امن میدانی:** مسیری که متوسط میدان‌های تداخلی در آن حداقل باشد و از کمترین تعداد نقاط با میدان قوی عبور کند [۵]. انتخاب چنین مسیری می‌تواند بروز مشکلاتی مانند پیچ و خم‌دار شدن و طولانی شدن مسیر را در پی داشته باشد.

(ب) **سیم‌های پوشش‌دار:** با استفاده از سیم‌های پوشش‌دار می‌توان از مناطقی عبور کرد که میدان‌های تداخلی مجاز (با توجه به ضریب مؤثرسازی پوشش) داشته باشند [۱۴]. استفاده از سیم‌های پوشش‌دار مشکلاتی نظیر سختی عملیات خمکاری سیم‌ها و کانال‌کشی، افزایش قیمت و پدید آمدن تنگناهایی در فضاهای کوچک عبور سیم‌ها را پدید می‌آورد.

(ج) **حذف مد مشترک:** با توجه به اینکه میدان‌های تداخلی به دو مد مشترک و تفاضلی قابل تفکیک هستند و

محیط انتقال سیگنال‌ها به روش هدایتی، محیط نویزپذیر است که منجر به اختلال در کار کلی سیستم می‌شود. لذا بررسی EMC سیم‌ها با شناسایی میدان‌های تشعشعی درون محفظه فلزی و مدل سازی منابع تولید جریان بالا در نرم‌افزار شبیه‌سازی انجام می‌شود. برای این منظور از نرم‌افزار ANSYS که مبتنی بر حل میدان به روش المان محدود (FEM)^۱ است استفاده می‌شود.

با شبیه‌سازی‌های اولیه، حدود بزرگی میدان‌های مغناطیسی تراجمی در محفظه فلزی به دست آمده و دید اولیه‌ای از امکان بروز اختلال در کارکرد تجهیزات حساس (از طریق سیم‌ها) بدست می‌آید. از سوی دیگر، اثر فرایندهای گذرا نظیر کلیدزنی در بروز میدان تداخلی بررسی و شبیه‌سازی می‌شود. لذا دو شبیه‌سازی معمول و بحرانی برای میدان‌های تداخلی در سیستم انجام شده و نکات زیر حاصل می‌شود:

۱- احتمال اثر گذاری میدان‌های تداخلی و میدان‌های تداخلی بحرانی معمول بر سیم‌ها
۲- شناخت محل ایجاد میدان‌های بزرگ در محفظه با توجه به نتایج توزیع میدان

در صورت مثبت بودن مورد اول یا دوم (با توجه به قابلیت اطمینان مورد انتظار برای سیستم)، مورد سوم به کوچک‌سازی فضای اندازه‌گیری در محفظه برای دستیابی به نتایج دقیق و عملی برای توزیع میدان تراجمی کمک شایان توجهی می‌کند. اندازه‌گیری با دستگاه گوس‌متر انجام شده و با توجه به اینکه اولین گام در مقابله با ناسازگاری الکترومغناطیسی، طراحی مجدد است، اولین راهکار، بازبینی مسیر و انتخاب مسیرهای قابل حصول و کوتاهی است که بزرگی میدان تراجمی اطراف آنها در حد مجاز باشد. برای این منظور باید در مسیرهای منتخب با جاروی کامل کل مسیر، اندازه‌گیری در مش‌بندی مکعبی مفروض کوچکی با ابعاد

1. finite element method

حذف مد مشترک"، "کاندویت گسسته" و "کاندویت پیوسته" تقسیم می‌شود؛ لذا گزینه‌های متعددی پیش روی طراح قرار می‌گیرد. برای تصمیم‌گیری بهینه از فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده می‌شود.

در این روش ابتدا با توجه به نیازهای سیستم موردنظر، مقایسه‌ای بین سه معیار اساسی صورت پذیرفته و ماتریس مقایسه زوجی برای معیارهای سه‌گانه تشکیل می‌شود. آنگاه با استفاده از شناخت حاصل درباره سیستم و با توجه به اهمیت نسبی معیارهای سه‌گانه، مسیرهای قابل انتظار (انتخاب اولیه با توجه به دانش طراح) ارائه می‌شوند. برای هر یک از مسیرها نسبت به هر یک از معیارها، ماتریس‌های مقایسه زوجی تعیین می‌شود. در این زمینه لازم است برای سازگاری و واقع‌پذیری ماتریس‌های مقایسه، فرمول‌بندی صحیحی از مسیر نسبت به معیار در هر نمونه وجود داشته باشد که این بخش مهمی از ابتکار حل مسأله را برای هر مطالعه موردی دربر می‌گیرد. در مجموع با استفاده از اصول حاکم بر فرایند تحلیل سلسله مراتبی، مسیر بهینه تعیین می‌شود. نکته مهمی که در بحث حاضر وجود دارد این است که معیار EMC خود به پنج عامل تقسیم شده که موازنه آنها با یکدیگر ارائه فرمول‌بندی جدیدی را می‌طلبد. این منجر به پیدایش انتخاب‌های متعددی از مسیرها می‌شود که لزوم به‌کارگیری الگوریتم ساخت یافته را نشان می‌دهد. فرمول‌بندی برای معیار EMC با رابطه زیر ارائه می‌شود:

(1)

$$EMC \propto \sqrt{a^2 + b^2} \frac{\sum_{k=1}^n (B_{\mu, \max}^k - \Delta B_{\mu, \max}^k) \times \alpha_k + (B_{\mu, \text{avg}}^k - \Delta B_{\mu, \text{avg}}^k) \times \alpha_k}{(\alpha_{\max, \text{selected}} + \alpha_{\max, \text{selected}}) \times n}$$

B_{\max} و B_{avg} مقادیر میدان‌های پراکندگی تراجمی پروبیت شده از شبیه‌سازی‌های میدان و سپس تعدادی

معمولاً مد مشترک مزاحم است، حذف آن با روش کابل مجازی دو سر زمین شده- که به موازات دسته سیم‌های حساس کشیده می‌شود- صورت می‌پذیرد. البته از این روش، در حال حاضر کمتر استفاده می‌شود. اشکال این روش، نبود فضای لازم برای نصب این کابل به موازات سیم‌های حساس و تحمیل هزینه اضافی ناشی از همین کابل است.

(د) کاندویت: دسته سیم‌ها را می‌توان در لوله‌ای فلزی به نام کاندویت قرار داد. این لوله فلزی مانند سپر مغناطیسی عمل می‌کند و با توجه به بزرگی میدان‌ها و میزان تضعیف مورد نظر، می‌توان نوع فلز (ضرایب μ_r و σ_r) و ضخامت لازم برای فلز را تعیین کرد [8]. در صورتی که ابتدا و انتهای کاندویت زمین شود، اثر حذف مد مشترک را نیز خواهد داشت. با توجه به ساختار مکانیکی محفظه فلزی و مسیر عبور سیم‌ها، استفاده از کاندویت منجر به تغییر مسیر، از حالت نرم به حالت صلب می‌شود لذا کاندویت به صورت گسسته در مناطق توزیع میدان بیشینه قابل استفاده است [9]. در این صورت آزادی عمل برای انتخاب مسیرها بیشتر شده و عبور از منطقه با میدان قوی میسر می‌شود. البته با استفاده از کاندویت گسسته مد مشترک را نمی‌توان حذف کرد. اکنون با توجه به معیارهای چهارگانه فوق روش ترکیبی مدنظر قرار می‌گیرد.

۴- الگوریتم انتخاب مسیر بهینه به روش

تصمیم‌گیری سلسله مراتبی

برای دستیابی به مسیر بهینه سیم‌ها در محفظه فلزی سه معیار اساسی "افت ولتاژ"، "قیمت" و "پارامترهای سازگاری الکترومغناطیسی مدنظر قرار گرفته است. با توجه به اینکه پارامترهای EMC با توجه به مطالب بالا خود به پنج گروه "میدان تداخلی کمینه"، "سیم‌های پوشش‌دار"، "کابل مجازی

برای تعیین t ، برای سیم‌های مختلف برای هر سیم با سطح مقطع و کاربرد یکسان، ضریب تصحیح (α_j) با توجه به حساسیت به افت ولتاژ اعمال شده است. بدیهی است که این ضریب برای سیم‌های حفاظتی و اندازه‌گیری مقدار بزرگتری دارد. ΔV_M افت ولتاژ متوسط سیستم به‌ازای هر مسیر انتخابی و $\Delta V\%$ افت ولتاژ برای سیم با سطح مقطع a با پارامترهای L ، ρ و I (مقاومت الکتریکی، طول و جریان هادی) به‌ازای ضریب قدرت $\cos \varphi$ است. در روشهای مقابله با ناسازگاری الکترومغناطیسی، پوشش‌دار کردن کابل از یک سو منجر به هزینه اضافی شده و از سوی دیگر پوشش واقعی را به ارمغان نمی‌آورد؛ زیرا از هادی به هم بافته شده برای ایجاد مد مطلوب دیفرانسیلی استفاده می‌شود و از نظر خاصیت پوشش فقط بخش کوچکی از میدان تشعشی موجود را جذب و یا منعکس می‌کند. سیم‌های پوشش‌دار سبب افزایش حجم سیم‌کشی در محفظه فلزی شده و گاهی عبور تعداد زیادی سیم از فضای کنار ستون‌های محفظه را ناممکن می‌کند. کاندویت گسسته ضمن داشتن هزینه کم، در مقابله با برخی نقاط میدان بالای درون محفظه - که به عبور از آنها در راستای کوتاه شدن ناگزیر هستیم - مفید است. در این صورت موجب کاهش شدید عبارت α_{jk} در رابطه (۱) خواهد شد. کاندویت پیوسته ضمن ایجاد سپر مغناطیسی واقعی، هزینه قابل توجهی را تحمیل کرده و به‌علاوه به طراحی مکانیکی مجدد فضای لازم برای قرار دادن آن و شاید استفاده نکردن از فضاهای درون ستون منجر می‌شود. این روش مقابله با ناسازگاری الکترومغناطیسی از طریق ایجاد سپر مغناطیسی توأم با حذف مد مشترک در صورت زمین کردن دو سر آن است که نیاز به کابل مجازی حذف مد

اندازه‌گیری با گوس‌متر به دست می‌آید. k تعداد کاربردهای کابل‌ها و ضرایب α_1 و α_2 و $\alpha_3 \leq \alpha_1$ و $1 \leq \alpha_4 \leq 5$ و $1 \leq \alpha_5 \leq 10$ می‌شوند. ΔB^k روشهای کاهش میدان را مدل‌سازی می‌کند. در حالت استفاده از کابل مجازی حذف مد مشترک برای تمامی مقادیر k ؛ $\Delta B_{pu,max}^k$ و $\Delta B_{pu,avg}^k$ مقادیر ثابتی هستند و در حالت استفاده از کاندویت گسسته یا پیوسته، ΔB^k با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شوند:

$$SE = 20 \log \frac{B_{out}^k}{B_{in}^k} \quad (2)$$

$$SE = 2.34t \sqrt{\mu_r \sigma_r f} + 168 - 10 \log \left(\frac{\mu_r f}{\sigma_r} \right) \quad (3)$$

t ضخامت سپر و r فاصله منبع از سپر هر دو برحسب اینچ، σ_r هدایت نسبی و μ_r نفوذپذیری نسبی است. از سوی دیگر برای تشکیل ماتریس مقایسه زوجی مسیرهای انتخابی نسبت به معیارهای افت ولتاژ و قیمت لازم است روابطی ارائه شود:

$$P_x = P_{wire} + P_{conduit} + \alpha P_{salary} \quad x \in \{A, B, C, \dots\} \quad (4)$$

P_{wire} هزینه سیم معمولی یا پوشش‌دار، $P_{conduit}$ هزینه کاندویت پیوسته یا گسسته و P_{salary} دستمزد سیم‌کشی است. ضریب α با توجه به متغیر بودن دستمزد در کشورهای مختلف تعیین می‌شود و مقداری بین ۱ تا ۵ را می‌توان برای آن در نظر گرفت:

$$\Delta V_M = \frac{\sum_{j=1}^t \alpha_j \Delta V \%}{\Delta V_{base} \times \sum_{j=1}^t \alpha_j \times t} \quad (5)$$

$$\Delta V \% = \alpha = \frac{100 \rho L I \cos \varphi}{a} \quad (6)$$

مشترک را برطرف می‌کند. در صورت استفاده نکردن از کاندویت پیوسته، استفاده از کابل مجازی حذف مد مشترک - اگر از نظر فضا مشکلی نداشته باشد - مفید به نظر می‌رسد؛ هر چند قیمت را مقداری افزایش می‌دهد. به هر حال انتخاب نهایی با توجه به نوع سیستم و ملاحظات خاص آن با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری ارائه شده انجام می‌شود و در نهایت پس از انجام محاسبات، قضاوت‌های اولیه مطابق فرمول‌بندی (۷) و (۸) ماتریس مقایسه زوجی وزن مسیره‌های کابل $[G^i]$ و وزن نسبی معیارها $[M]$ به ترتیب تشکیل می‌شوند:

$$I.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (9)$$

$$I.R = \frac{I.I}{II.R}$$

که IR نرخ ناسازگاری بوده و مقدار آن باید کمتر از ۰/۱ باشد. IIR پارامتر شاخص ناسازگاری تصادفی است که برای ماتریس ۳ بعدی برابر ۰/۵۸ است. الگوریتم ارائه شده مطابق شکل (۱) است. بر اساس توضیحات بالا، در ابتدا باید شناخت کاملی از سیستم مورد مطالعه با تأکید بر منابع و قربانی‌های میدان‌ها و محیط‌های انتقال به‌دست آید. آنگاه شبیه‌سازی‌ها و سپس اندازه‌گیری‌های میدان‌های مغناطیسی تداخلی پیرامون سیم‌های حساس در مسیره‌های انتخابی صورت پذیرد. سپس ساختار سلسله مراتبی برای انتخاب مسیره‌های مناسب و ممکن سیم‌کشی درون محفظه پیاده‌سازی می‌شود. در این راستا باید ماتریس‌های مقایسه زوجی مبتنی بر دانش افراد خبره و روابط مسأله ارائه شود. روند کار به شرح زیر است:

الف) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی معیارهای سه‌گانه $EMC, Price, \Delta V$ نسبت به هم و محاسبه مقدار ویژه بیشینه و بردار ویژه نظیر آن.

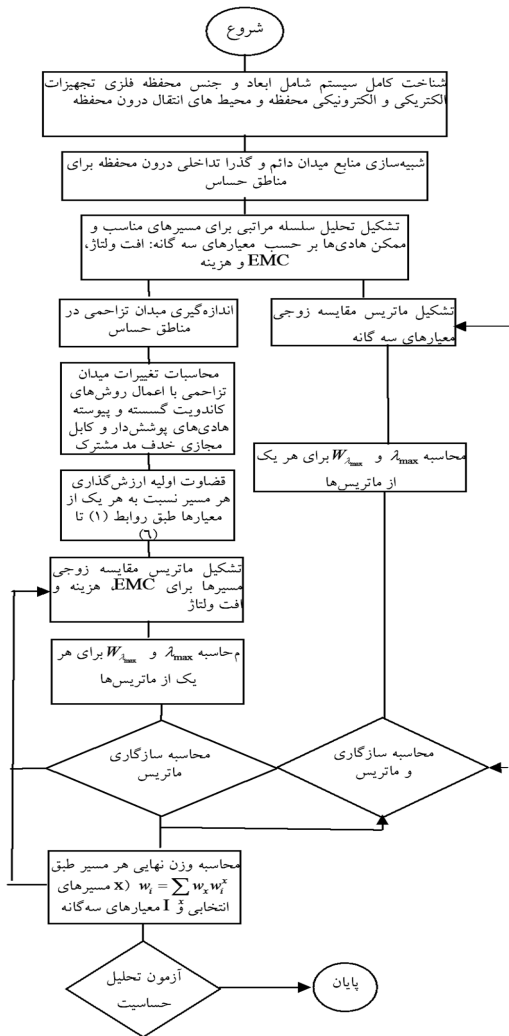
ب) تشکیل سه ماتریس مقایسه زوجی مسیره‌های انتخابی نسبت به یکدیگر بر اساس هر یک از معیارهای سه‌گانه $EMC, Price, \Delta V$ و محاسبه مقدار ویژه بیشینه

مشترک را برطرف می‌کند. در صورت استفاده نکردن از کاندویت پیوسته، استفاده از کابل مجازی حذف مد مشترک - اگر از نظر فضا مشکلی نداشته باشد - مفید به نظر می‌رسد؛ هر چند قیمت را مقداری افزایش می‌دهد. به هر حال انتخاب نهایی با توجه به نوع سیستم و ملاحظات خاص آن با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری ارائه شده انجام می‌شود و در نهایت پس از انجام محاسبات، قضاوت‌های اولیه مطابق فرمول‌بندی (۷) و (۸) ماتریس مقایسه زوجی وزن مسیره‌های کابل $[G^i]$ و وزن نسبی معیارها $[M]$ به ترتیب تشکیل می‌شوند:

$$[G^i] = \begin{bmatrix} 1 & RW_{AB}^i & RW_{AC}^i \\ \sqrt{RW_{AB}^i} & 1 & RW_{BC}^i \\ \sqrt{RW_{AB}^i} & \sqrt{RW_{BC}^i} & 1 \end{bmatrix}, i \in \{EMC, Price, \Delta V\} \quad (7)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & RW_{EMC}^{price} & RW_{\Delta V}^{price} \\ \sqrt{RW_{EMC}^{price}} & 1 & RW_{\Delta V}^{EMC} \\ \sqrt{RW_{\Delta V}^{price}} & \sqrt{RW_{\Delta V}^{EMC}} & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

سپس با تشکیل ماتریس $[G^i - \lambda I]$ ، دترمینان ماتریس محاسبه و از برابر صفر قرار دادن آن، λ_{\max} (بزرگترین مقدار ویژه) به‌دست می‌آید. در گام بعدی با استفاده از رابطه $[G^i - \lambda_{\max} I] \times W = 0$ بردار ویژه متناظر با λ_{\max} محاسبه می‌شود. علت استفاده از λ_{\max} آن است که λ_{\max} همواره بزرگتر یا مساوی n (بعد ماتریس) است و در صورت ناسازگاری ماتریس،



شکل ۱ اساس روش AHP برای انتخاب بهترین مسیر سیم‌ها با توجه به EMC

قیمت: هزینه‌های سیم‌کشی در تابلوی برق در صورت تولید انبوه قابل توجه است. در ضمن با توجه به اینکه تمامی سیم‌ها از خروجی ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری به تجهیزات فشارضعیف می‌رسند، حجم قابل توجهی را به خود اختصاص می‌دهند و وزن زیادی دارند.

افت ولتاژ: با توجه به اینکه طول هادی‌ها کوتاه است، وزن افت ولتاژ عدد کوچکی است.

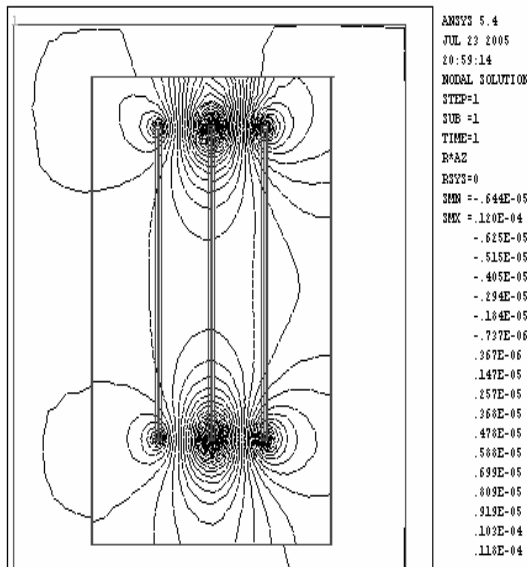
و بردار ویژه نظیر آن برای هر یک از ماتریس‌ها. پس بعد از برآورده شدن شرط سازگاری ماتریس‌ها و به‌دست آمدن وزن نهایی، انتخاب نهایی صورت می‌گیرد؛ بدیهی است که با تغییر فرض‌های ماتریس مقایسه زوجی، با آزمون تحلیل حساسیت می‌توان تغییرات در انتخاب مسیر بهینه را جستجو کرد.

۵- مطالعه موردی

۵-۱- تابلوی برق فشار متوسط

تابلوی برق فشار متوسط شامل تجهیزات فشار متوسط دژنکتور، سکسیونر، ترانسفورماتور جریان، ترانسفورماتور ولتاژ، مجموعه تجهیزات فشار ضعیف کنترل، حفاظت و اندازه‌گیری (دیسکریپسی، سمافور، پوش باتن، رله کمکی، رله خطای زمین، رله کنترل فاز، رله اضافه جریان، رله کاهش ولتاژ، آمپر متر، ولتمتر و غیره) است که هدف این مجموعه، قطع و وصل ولتاژ فشار متوسط است. در این قسمت تابلوی برق ۲۰ کیلوولت اندازه‌گیری - که فقط دارای ترانسفورماتور ولتاژ و جریان و لوازم کنترل و اندازه‌گیری و رله‌های اضافه جریان و کاهش ولتاژ است - مطالعه می‌شود. در این سیستم بزرگی جریان (در حدود ۴۰۰ تا ۲۵۰۰ آمپر) از یکسو و کلیدزنی سلول دژنکتوردار مجاور از سوی دیگر، اهمیت EMC را نشان می‌دهد. به‌ویژه در سلول اندازه‌گیری که خروجی ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری، تغذیه‌کننده تجهیزات فشارضعیف است، این مسأله برای کابل‌های رابط بسیار مهم است. بر این اساس تحقیق برای یافتن مسیر بهینه با ملحوظ کردن EMC مورد نظر بوده و در انتخاب مسیرها باید پارامترهای سه‌گانه با توجه به خصوصیات سیستم در نظر گرفته شوند.

PT و شینه‌بندی انجام می‌شود (جدول‌های ۱ و ۲). با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که با تعریف مناسب سیستم در نرم‌افزار، مقادیر میدان مغناطیسی را در هر نقطه از تابلو به‌ویژه در مسیرهای عبور کابل می‌توان از این دیدگاه بررسی کرد.



شکل ۳ خطوط شار میدان مغناطیسی (نما از روبه‌رو)

جدول ۱ اندازه میدان نزدیک شینه

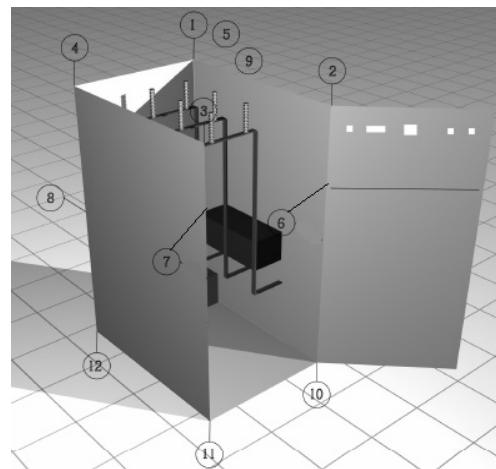
شینه‌سازی			اندازه‌گیری			موقعیت بر حسب cm (x,y,z)
B_z	B_y	B_x	B_z	B_y	B_x	
(mT)	(mT)	(mT)	(mT)	(mT)	(mT)	۸۵ و ۹۱ و ۱۰۰
۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۳۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۳۴	۸۵ و ۹۳ و ۱۰۰
۰/۰۰۹	۰/۰۱۲	۰/۲۶	۰	۰	۰/۳۱	۸۵ و ۹۶ و ۱۰۰
۰/۰۰۸	۰/۰۲۳	۰/۱۵۷	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱۷	۸۵ و ۹۸ و ۱۰۰
۰/۰۰۸	۰/۰۱۶	۰/۱۱۳	۰	۰/۰۱	۰/۱۲	۸۵ و ۱۰۰ و ۱۰۰
۰/۰۰۷۸	۰/۰۱۱	۰/۱	۰	۰/۰۲	۰/۱۱	۸۵ و ۱۰۰ و ۱۰۰

بررسی میدان‌های مغناطیسی در حالت‌های گذرا و عملکرد دژنکتور سلول مجاور نیز - که مولد جریان و

سازگاری الکترومغناطیسی: از آنجاکه کابل‌ها نقش کنترل، اندازه‌گیری و به‌ویژه حفاظت را برعهده دارند، لذا تغییر ندادن آنها بسیار مهم است. در نتیجه بیشترین وزن در مسیر بهینه را EMC دارد که با شینه‌سازی توزیع میدان بر اساس مدل دوقطبی مغناطیسی در نرم‌افزار المان محدود به‌دست می‌آید.

نمایی از محفظه فلزی تابلوی برق ۲۰ کیلوولت اندازه‌گیری در شکل (۲) آورده شده است. برای دیده شدن بهتر شینه‌ها، سقف تابلو و محفظه LV (تجهیزات اندازه‌گیری و کنترل) - که از یک‌سو محدود به نقاط ۲، ۳، ۶، ۷ و از سوی دیگر انتهای شینه در جلوی تابلو است - نشان داده نشده است.

بر اساس الگوریتم ارائه شده، ابتدا شینه‌سازی میدان‌های داخلی تابلو به‌وسیله نرم‌افزار ANSYS مبتنی بر اجزای محدود انجام شده است. شکل (۳) پراکنندگی شار مغناطیسی و حدود آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲ نمایی از محفظه فلزی تابلو برق اندازه‌گیری ۲۰ کیلوولت

اکنون برای دستیابی به شرایط واقعی و دقیق با توجه به توزیع میدان، اندازه‌گیری نقطه به نقطه در نزدیکی کابل

ولتاژ گذرا با طیف فرکانسی وسیع است - قابل توجه است. مقادیر میدان مغناطیسی برای هر فرکانس با توجه به دامنه جریان در تابلو قابل تعیین است. در این مقاله بدون این که به کلیت بحث خدشه‌ای وارد شود، از تحلیل گذرا صرف نظر شده است، زیرا منبع نویز میدان گذرا شینه‌ها هستند که موجب تولید میدان بسیار بزرگتر می‌شوند؛ لذا مکانهای دارای میدان زیاد در اندازه‌گیری دائم، میدان‌های بزرگتری دارند.

جدول ۲ اندازه میدان نزدیک کابل PT

موقعیت بر حسب cm (x,y,z)	اندازه‌گیری			شبیه‌سازی		
	B_z	B_y	B_x	B_z	B_y	B_x
۶۰ و ۶۰ و ۵۵	۰/۰۶	۰/۴۲	۰	۰/۴۴	۰/۰۱	۰
۶۰ و ۶۵ و ۵۵	۰/۰۵	۰/۴	۰	۰/۴۱	۰/۰۰۱	۰
۶۰ و ۸۰ و ۵۵	۰/۰۷	۰/۲۷	۰	۰/۳	۰/۰۰۱	۰
۸۰ و ۹۰ و ۵۵	۰/۰۱	۰/۰۶	۰	۰/۰۶۵	۰/۰۰۴	۰
۱۰۰ و ۹۱ و ۵۵	۰	۰/۰۵	۰	۰/۰۵۶	۰/۰۰۳	۰

بر طبق اصول کابل‌کشی مبتنی بر معیار EMC و با توجه به نحوه توزیع میدان مغناطیسی، مسیرهای احتمالی مناسب سه‌گانه مطابق شماره‌گذاری در شکل (۲) A، B و C است که هر یک از مسیرها از (۲)، (۳)، (۶) و (۷) به محل نهایی خود (تجهیزات روی در تابلو) می‌رسند.

$$A = \{(12,11), (9,12), (9,10), (4,12), (9,1), (7,8), (6,5)\}$$

$$B = \{(4,12), (3,4), (9,1), (2,1), (9,12)\}$$

$$C = \{(12,11), (9,12), (11,7), (7,6)\}$$

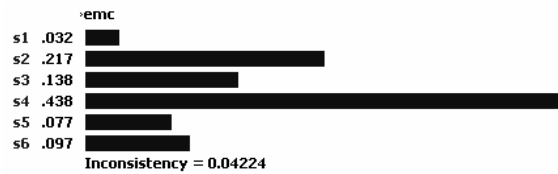
مسیر A طولانی‌ترین مسیر است که از نظر میدان‌های تداخلی بهترین انتخاب بوده و با فرض کابل

پوشش‌دار یکی از انتخابها را پدید می‌آورد (گزینه S_1). مسیرهای B و C مسیرهای کوتاهی هستند که پارامتر EMC را به‌خوبی برآورده نمی‌سازند. لذا از این مسیرها به‌طور مستقیم برای دستیابی به نقطه بهینه انتخاب استفاده نمی‌شود. برای اصلاح مسیر B از پوشش‌های در نقاط میدان بزرگ توسط کاندویت به صورت موضعی بهره‌گرفته شده (گزینه S_1) و برای بهبود قابلیت EMC آن، از کابل‌های پوشش‌دار استفاده می‌شود (گزینه S_1). برای کوتاهترین مسیر C از سه تدبیر "کابل پوشش‌دار"، "کاندویت پیوسته" و "کابل پوشش‌دار و کاندویت گسسته" استفاده می‌شود (گزینه‌های $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$). اکنون برای هر یک از گزینه‌های شش‌گانه نسبت به هر یک از معیارها قضاوت‌های اولیه را براساس رابطه‌های [۶ تا ۱۰] می‌توان انجام داد که نتایج در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳ قضاوت‌های اولیه برای هر مسیر نسبت به هر معیار

EMC	price	ΔV	
۰/۷	۰/۵۵	۲٪	S_1
۰/۲	۰/۷	۳٪	S_2
۰/۳	۰/۶	۱٪	S_3
۰/۱۵	۰/۵۵	۱٪	S_4
۰/۴	۰/۶۵	۱٪	S_5
۰/۳۵	۰/۷	۲٪	S_6

اکنون با در دست داشتن قضاوت‌های اولیه جدول (۳) ماتریس مقایسه زوجی را برای مسیرهای انتخابی نسبت به هر یک از معیارها می‌توان تشکیل داد.



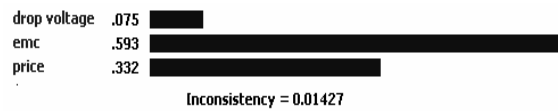
شکل ۵ وزن هر انتخاب نسبت به معیار EMC و سازگاری معیار



شکل ۶ وزن هر انتخاب نسبت به معیار قیمت و سازگاری معیار

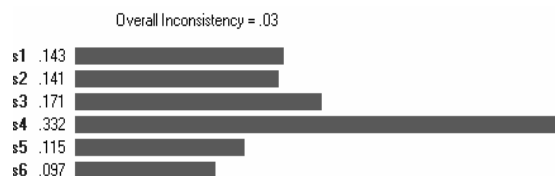
در ماتریس مقایسه زوجی معیارها و وزن آنها نسبت به هم در شکل ۷ قابل مشاهده است.

$$W = \begin{bmatrix} EMC & \Delta V & Price \\ 1 & 7 & 2 \\ \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{5} \\ \frac{1}{2} & 5 & 1 \end{bmatrix}$$



شکل ۷ وزن معیارها نسبت به هم و سازگاری

در تمامی موارد بالا سازگاری کوچکتر از ۰/۱ است که براساس الگوریتم، نشان‌دهنده انتخاب درست ماتریس‌های زوجی (نسبت به ارزش‌گذاری‌های طراح) بوده و می‌توان وزن نهایی هر انتخاب را به‌دست آورد (شکل ۸).



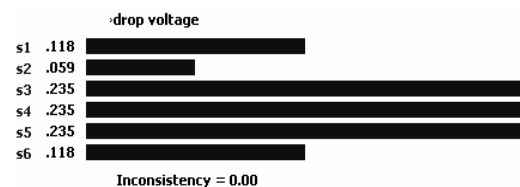
شکل ۸ وزن نهایی هر مسیر و سازگاری کل

$$\Delta V = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \\ 1 & 2 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1 \\ 0.5 & 1 & 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.5 \\ 2 & 4 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 4 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 4 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1 \end{bmatrix}$$

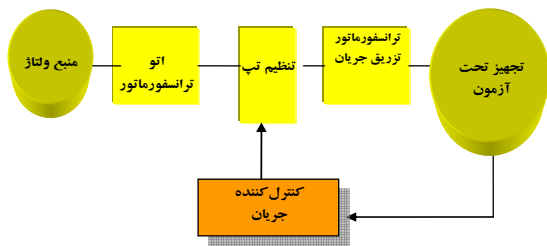
$$price = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \\ 1 & 4 & 1 & 1 & 3 & 3 \\ \frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 3 & 1 & 1 & 2 & 3 \\ \frac{1}{3} & 2 & 1 & \frac{1}{2} & 1 & 1 \\ \frac{1}{3} & 2 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$EMC = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \\ 1 & \frac{1}{6} & \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} \\ 6 & 1 & 2 & \frac{1}{3} & 3 & 3 \\ 5 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{4} & 2 & 2 \\ 7 & 3 & 4 & 1 & 5 & 5 \\ 4 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{2} \\ 4 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

با توجه به الگوریتم ارائه شده و با استفاده از ماتریس‌های مقایسه زوجی هر معیار، وزن هر انتخاب نسبت به هر معیار با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice تعیین می‌شود که نتایج در شکل‌های [۴ تا ۶] قابل مشاهده است.



شکل ۹ وزن هر انتخاب نسبت به معیار افت ولتاژ و سازگاری معیار



شکل ۱۰ بلوک دیاگرام سیستم تزریق جریان

لذا این سیستم علاوه بر ترانسفورماتور تولید جریان بالا، دارای مجموعه اتوترانسفورماتور و کنترل کننده جریان است. سیم‌های کنترل و اندازه‌گیری حامل ولتاژ نسبت به میدانهای تداخلی ناشی از تولید جریان بالا حساس بوده و می‌تواند سبب بروز اشکال در کار نشان دهنده‌ها مانند نمایشگر سنسور حرارت، آمپر متر و ولتمتر یا کنترل کننده تپ و مانند آن شوند. در نتیجه مجموعه سیم‌های کنترل و اندازه‌گیری باید در گام اول دارای مسیر بهینه در قیاس با تداخل میدانی باشند. در انتخاب مسیرها باید دیدگاهی نسبت به پارامترهای سه‌گانه بالا با توجه به خصوصیات سیستم وجود داشته باشد.

قیمت: هزینه‌های سیم کشی در سیستم تزریق جریان نسبت به کل سیستم بسیار ناچیز است. از سوی دیگر سیستم برای مصارف آزمایشگاهی مناسب بوده و دارای تولید محدود است، لذا وزن قیمت در اینجا عدد کوچکی است.

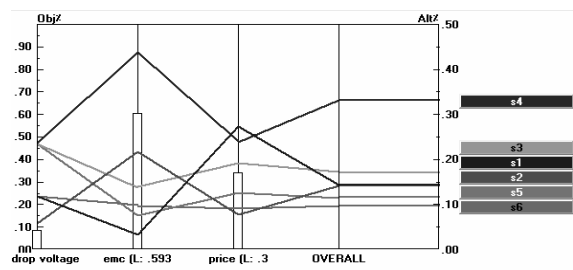
افت ولتاژ: با توجه به این‌که طول در آن کوتاه است، وزن افت ولتاژ بزرگ نیست.

سازگاری الکترومغناطیسی: از آنجاکه کابل‌ها، بیشتر نقش کنترل و اندازه‌گیری را برعهده دارند، لذا تغییر ندادن آنها اهمیت اساسی دارد؛ لذا بیشترین وزن در مسیر بهینه را EMC دارد که با شبیه‌سازی توزیع میدان بر اساس مدل دوقطبی مغناطیسی به‌دست می‌آید.

محفظه فلزی سیستم تزریق جریان ۲۵۰۰۰ آمپر در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده در شکل ۸ بهترین انتخاب مسیر S₄ و سازگاری کل برابر ۰/۰۳ است که در محدوده مجاز بوده و صحت کلی عملیات محاسباتی را نشان می‌دهد. **تحلیل حساسیت:** برای طراحان مختلف با ارزش‌گذاری‌های متفاوت، تفاوت در انتخاب‌ها می‌تواند به تغییراتی منجر شود؛ تحلیل حساسیت، انعطاف‌پذیری الگوریتم را مشخص می‌سازد. در شکل ۹ تحلیل حساسیت نمونه مورد مطالعه آورده شده است.

در تحلیل حساسیت، (با توجه به شکل ۹) اگر معیارهای قیمت و افت ولتاژ دارای مرتبه بیشتری باشند انتخاب مسیر S_۳ محتمل خواهد بود و اگر معیار قیمت و EMC تقریباً هم‌رتبه بوده و رتبه بیشتری از معیار افت ولتاژ داشته باشند، S_۴ انتخاب خواهد شد.



شکل ۹ تحلیل حساسیت انتخاب مسیر مناسب در تابلوی فشار متوسط

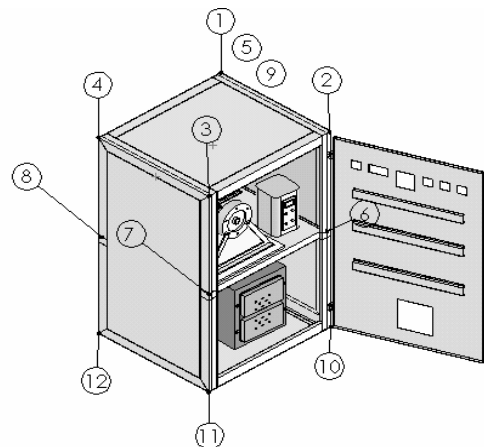
۲-۵- سیستم تزریق جریان

سیستم تزریق جریان برای تولید جریانهای بالا از ترانسفورماتوری با جریان خروجی بالا بهره می‌برد که در هنگام تزریق جریان زیاد، ثانویه آن دارای ولتاژ ۵ ولت است. به دلیل تولید جریان بزرگ (از ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ آمپر) همواره میدان مغناطیسی بزرگی در درون سیستم وجود دارد که مجموعه کنترل کننده آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بلوک دیاگرام این سیستم در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۴ اندازه میدان مغناطیسی پیرامون ترانسفورماتور

اصلی (طبقه پایین)

شبه‌سازی			اندازه‌گیری			موقعیت بر حسب cm (x,y,z)
B_z	B_y	B_x	B_z	B_y	B_x	
(mT)	(mT)	(mT)	(mT)	(mT)	(mT)	(۹۰ و ۲۰ و ۰)
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۴۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۴۱	(۹۰ و ۱۰ و ۰)
۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۲۹	۰	۰/۰۱	۰/۳۲	(۵۰ و ۳۰ و ۶۰)
۰/۰۰۷	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۰۱	۰	۰/۱۲	(۷۰ و ۵۰ و ۰)
۰/۰۰۳	۰/۰۳۶	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۱۰	(۰ و ۰ و ۲۰)
۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۲۷	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۳۱	



شکل ۱۱ محفظه سیستم تزریق جریان و مسیرهای نمونه‌ای

بر اساس اصول کابل‌کشی با تأکید بر EMC و با توجه به توزیع میدان مغناطیسی، مسیرهای احتمالی مناسب سه گانه مطابق شماره گذاری شکل ۱۱ A، B و C است که هر یک از مسیرها از (۶) یا (۲) به محل نهایی خود (تجهیزات روی در تابلو) می‌رسند.

$$A = \{(12, 9), (9, 5), (5, 1), (7, 8), (8, 4), (4, 1)\}$$

$$B = \{(12, 9), (9, 5), (5, 1), (1, 2)\}$$

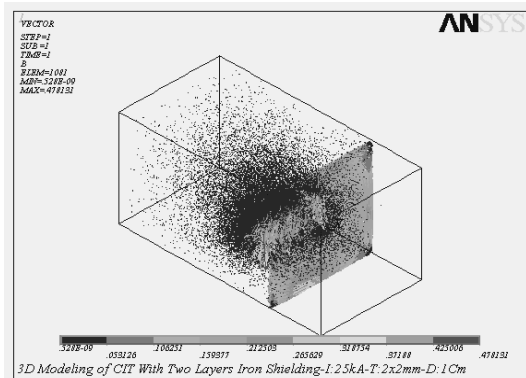
$$C = \{(12, 9), (9, 5), (6, 2)\}$$

جدول ۵ اندازه میدان مغناطیسی پیرامون اتوترانسفورماتور

(طبقه بالا)

شبه‌سازی			اندازه‌گیری			موقعیت بر حسب cm (x, y, z)
B_z	B_y	B_x	B_z	B_y	B_x	
(mT)	(mT)	(mT)	(mT)	(mT)	(mT)	(۹۰ و ۷۰ و ۰)
۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۱۱	(۹۰ و ۵۰ و ۲۰)
۰	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۱۲	(۷۰ و ۸۰ و ۵۰)
۰/۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۷	۰/۰۵	۰	۰/۰۶	(۸۰ و ۱۰ و ۴۰)
۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۸	(۰ و ۵۰ و ۳۰)
۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱	۰	۰/۰۳	۰/۰۹	

بر اساس الگوریتم ارائه شده، ابتدا میدانهای مغناطیسی درون تانک شبه‌سازی می‌شوند تا برآوردی از حدود میدانهای مغناطیسی پراکندگی درون محفظه به دست آید. شکل ۱۲ نمونه توزیع میدان را پیرامون صفحات کناری با پراکندگی بزرگی میدان از نانو تسلا تا دهم تسلا نشان می‌دهد که بالاتر از حدود مجاز است. لذا لازم است پس از انتخاب مسیرهای اساسی، جاروی میدان پیرامون مسیرها با دستگاه گوس‌متر انجام شود (جدول‌های ۴ و ۵). مختصات جدول‌ها با ملحوظ کردن نقطه ۱۱ به عنوان مبدأ، ۱۰-۱۱ محور Xها، ۱۱-۳ محور Yها و ۱۲-۱۱ محور Zها در شکل ۱۱ است.



شکل ۱۲ توزیع میدان مغناطیسی پراکندگی پیرامون صفحه پایین کناری

جدول ۶ قضاوت‌های اولیه برای هر مسیر نسبت به هر معیار

EMC	price	ΔV	
۰/۱۳۵	۱	./۰۱۲۵%	S_1
۰/۰۹۶	۰/۷۸	./..۳۹۸%	S_2
۰/۰۴۵	۰/۸۳	./..۲۹۵%	S_3
۰/۰۳۵	۰/۸۹	./..۲۹۵%	S_4
۰/۰۷۴	۰/۸۶	./..۳۹۸%	S_5
۰/۰۷۳	۱/۰۶	./۰۱۲۵%	S_6

$$\Delta V = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \\ 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{4} & 1 \\ 4 & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 & 4 \\ 5 & 2 & 1 & 1 & 2 & 5 \\ 5 & 2 & 1 & 1 & 2 & 5 \\ 4 & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 & 4 \\ 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{4} & 1 \end{bmatrix}$$

$$price = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \\ 1 & \frac{1}{6} & \frac{1}{5} & \frac{1}{4} & \frac{1}{5} & 3 \\ 6 & 1 & 2 & 4 & 3 & 7 \\ 5 & \frac{1}{2} & 1 & 3 & 2 & 6 \\ 4 & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{2} & 5 \\ 5 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 2 & 1 & 6 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{7} & \frac{1}{6} & \frac{1}{5} & \frac{1}{6} & 1 \end{bmatrix}$$

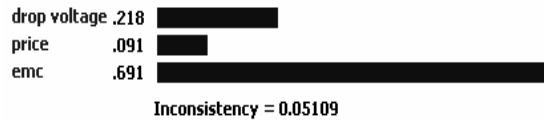
$$EMC = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \\ 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & \frac{1}{9} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} \\ 3 & 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{8} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ 6 & 4 & 1 & \frac{1}{4} & 5 & 5 \\ 9 & 8 & 4 & 1 & 7 & 7 \\ 5 & 3 & \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & 1 & 1 \\ 5 & 3 & \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

مسیر A طولانی‌ترین مسیر است که به خودی خود هم از نظر گذر از نقاط بحرانی میدان و هم از نظر میانگین میدان در بر گرفته، بهترین انتخاب است (گزینه S_1) و با پوشش نقاط میدان زیاد آن توسط کاندویت گسسته، درجه ایمنی EMC به شدت افزایش می‌یابد، بی آن که نیاز به استفاده از سیم‌های پوشش‌دار باشد (گزینه S_2). مسیرهای B و C مسیرهای کوتاه مشابهی هستند که پارامتر EMC را به خوبی برآورده نمی‌سازند. متوسط میدان مغناطیسی در مسیر B تا حدی کمتر از مسیر C است اما از تعداد بیشتری نقاط با میدان بزرگتر عبور می‌کند. لذا از این مسیرها برای دستیابی به نقطه بهینه انتخاب استفاده نمی‌شود. برای اصلاح مسیر B از پوشش هادی‌ها در نقاط میدان بالا به وسیله کاندویت موضعی بهره برده (گزینه S_3) و برای بهتر کردن قابلیت EMC آن، از سیم‌های پوشش‌دار و کابل مجازی در این مسیر استفاده می‌شود (گزینه S_4). در نهایت برای کوتاه‌ترین مسیر C دارای متوسط میدان بزرگ پیرامون خود، فقط کاندویت پیوسته می‌تواند آن را اصلاح کند (گزینه S_5) و بالا بردن درجه اطمینان EMC با پوشش‌دار کردن سیم‌ها در فرایند قبل میسر می‌شود (گزینه S_6). اکنون برای هریک از گزینه‌های شش گانه نسبت به هر یک از معیارها، قضاوت‌های اولیه بر اساس رابطه‌های [۶ تا ۶] انجام می‌شود که نتایج در جدول ۶ آورده شده.

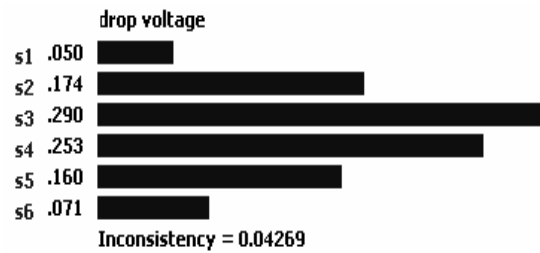
قضاوت‌های اولیه جدول ۶، تشکیل ماتریس مقایسه زوجی را برای مسیرهای انتخابی نسبت به هریک از معیارها میسر می‌سازد.

$$W = \begin{bmatrix} EMC & \Delta V & Price \\ 1 & 4 & 6 \\ \frac{1}{4} & 1 & 3 \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}$$

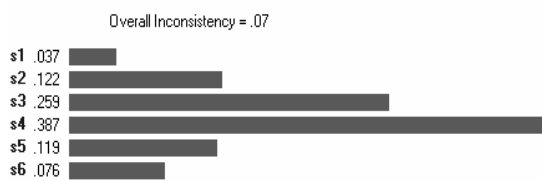
با توجه به الگوریتم ارائه شده، با استفاده از ماتریس‌های مقایسه زوجی هر معیار، مقدار وزن هر انتخاب نسبت به هر معیار قابل تعیین است که نتایج در شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ قابل مشاهده است.



شکل ۱۶ وزن معیارها نسبت به هم و سازگاری



شکل ۱۳ وزن هر انتخاب نسبت به معیار افت ولتاژ و سازگاری معیار



شکل ۱۷ وزن نهایی هر مسیر و سازگاری کل



شکل ۱۴ وزن هر انتخاب نسبت به معیار EMC و سازگاری معیار

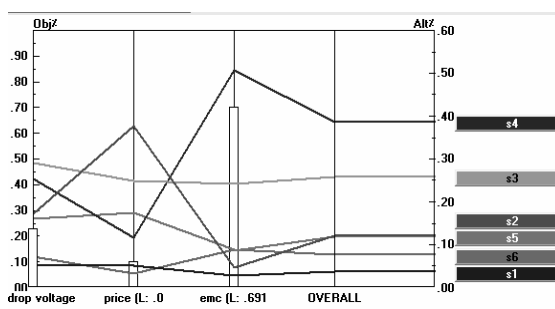
در تمامی موارد بالا، سازگاری کوچکتر از ۰/۱ است که براساس الگوریتم، نشانه از انتخاب درست ماتریس‌های زوجی (نسبت به ارزش گذاری‌های طراح) بوده و می‌توان وزن نهایی هر انتخاب را به دست آورد (شکل ۱۷).

تحلیل حساسیت: مانند نمونه قبلی، تحلیل حساسیت برای بررسی احتمال انتخاب‌های جدید با توجه به تغییر رتبه معیارها صورت می‌پذیرد. در شکل ۱۸ تحلیل حساسیت نمونه مورد مطالعه ترسیم شده است.



شکل ۱۵ وزن هر انتخاب نسبت به معیار قیمت و سازگاری معیار

ماتریس مقایسه زوجی معیارها و وزن آن‌ها نسبت به هم (شکل ۱۶) در زیر قابل مشاهده است.



شکل ۱۸ تحلیل حساسیت انتخاب مسیر مناسب در تابلوی فشار متوسط

۷- مراجع

- [1] Lothar O. Hoefft, Joseph S. Hofstra "Experimental and Theoretical Analysis of the Magnetic Field Attenuation of Enclosures", IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility, vol. 30, No. 3, Aug. 1988, p.p. 326-340.
- [2] H. Heydari, F. Faghihi, and M. Farhadi, "EMC Consideration in Current Injection Transformers", WSEAS Transaction on Communications, Issue. 2, vol. 3, April 2004, pp. 823-830.
- [3] M. G. Stewart, W. H. Siew, "Conducted Emissions from FACTS Equipment Operational within Substations—Part II", IEEE Transactions on Power Delivery: Accepted for future publication, Vol.99, 2004, pp1-6.
- [4] R. J. Gavazza and C.M. Wiggins, "Reduction of Interference on Substation Low Voltage Wiring", IEEE/PES Summer Meeting, July 23-27, 1995.
- [5] S.G Ludwig and C.C Schuetz, "Coupling to control cables in HV Substations", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Vol. 1, Pages 249 – 253, 13-17 Aug. 2001
- [6] J. W. Molyneux-Child, "EMC Shielding Materials", Newnes, 1997.

در تحلیل حساسیت (با توجه به شکل ۱۸) اگر معیار قیمت و افت ولتاژ دارای مرتبه بیشتری باشند، مسیر انتخابی S_4 بوده و اگر معیار قیمت از دیگر معیارها رتبه بیشتری داشته باشد و افت ولتاژ اندکی افزایش یابد، احتمال انتخاب S_4 بیشتر از بقیه خواهد شد.

۶- نتیجه گیری

ارائه الگوریتمی جامع برای مسیر بهینه کابل کشی با توجه به ملاحظات EMC با توجه به ناهمگونی پارامترهای قیمت، افت ولتاژ و میدانهای مغناطیسی کار پیچیده‌ای است که در این مقاله با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی و طراحی روابطی ابتکاری برای زیرساخت این روش انجام شد. نقطه قوت این روش، سادگی، جامعیت و رویکرد همزمان نظری- عملی با انجام تحلیلهای ساده روی نمونه مورد مطالعه است. برای حصول اطمینان از کارایی الگوریتم ارائه شده، دو نمونه کاملاً متفاوت از نظر کابل کشی مطالعه شد و انتخاب مسیر بهینه کابل کشی در آنها با استفاده از روشهای ترکیبی کاندویت- پوشش دارکردن- حذف مد مشترک برای بالا بردن حوزه انتخاب انجام شد. در روش ارائه شده، تعدد معیارهای انتخاب و گزینه‌های جواب، مشکلی را ایجاد نمی‌کند و با توجه به خطی بودن حل مسأله، همواره جواب بهینه‌ای قابل حصول خواهد بود. نرسیدن به جوابهای درست را فقط می‌توان ناشی از فرضیه‌ای نادرست در شناخت سیستم یا در رسیدن از قضاوت‌های اولیه - مبتنی بر رابطه‌های ابتکاری - به ماتریس مقایسه زوجی دانست که محک سازگاری ماتریس تا حدودی آن را تحت کنترل خود دارد. در پایان با استفاده از تحلیل حساسیت، انعطاف‌پذیری الگوریتم و روش ابتکاری بررسی شد.

- [11] Saaty, "Analytical Network Process", RWS Publication, USA, 1996
- [12] S. Caniggia and F. Maradei, "SPICE-Like Models for the Analysis of the Conducted and Radiated Immunity of Shielded Cables", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 46, No. 4, November 2004, pp 606-616
- [13] Y. Weens, N. Idir, R. Bausière, and J. J. Franchaud, "Modeling and Simulation of Unshielded and Shielded Energy Cables in Frequency and Time Domains", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 42, No. 7, July 2006, pp 1876-1882.
- [14] A.R. Coates, A. Gavrilakis, A.P. Duffy, K.G. Hodge and A.J. Willis, "Shield behaviour of communications cables", IEE Proc.-Sci. Meas. Technol., Vol. 150, No. 6, November 2003, pp 307-312.
- [7] B.w Jackel," Electromagnetic Compatibility of Distribution Switchgear Installations", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.36, No.2, pp.247-57, February 1998
- [8] F. M. Tesche, A. W. K'alin, B. Br'andli, B. Reusser, M. Ianoz, D. Tabara, and P. Zwiacker, "Estimates of Lightning-Induced Voltage Stresses Within Buried Shielded Conduits", IEEE Transactions ON Electromagnetic Compatibility, Vol. 40, No. 4, November 1998", pp 492-504.
- [9] Dong-wan Tcha and Moon-gil Yoon, "Conduit and Cable Installation for a Centralized Network with Logical Star-Star Topology", IEEE Transactions ON Communications, Vol. 43, No. 2/3/4, February/March/April 1995, pp 958-967
- [10] S. H. Ghodsypour and C. O'bien, "A Decision Support System for Supplier Selection Using an Integrated Analytical Hierarchy Process and Linear Programming", International Journal of Production Economics, Vol. 56, Pages 199-212, 1998