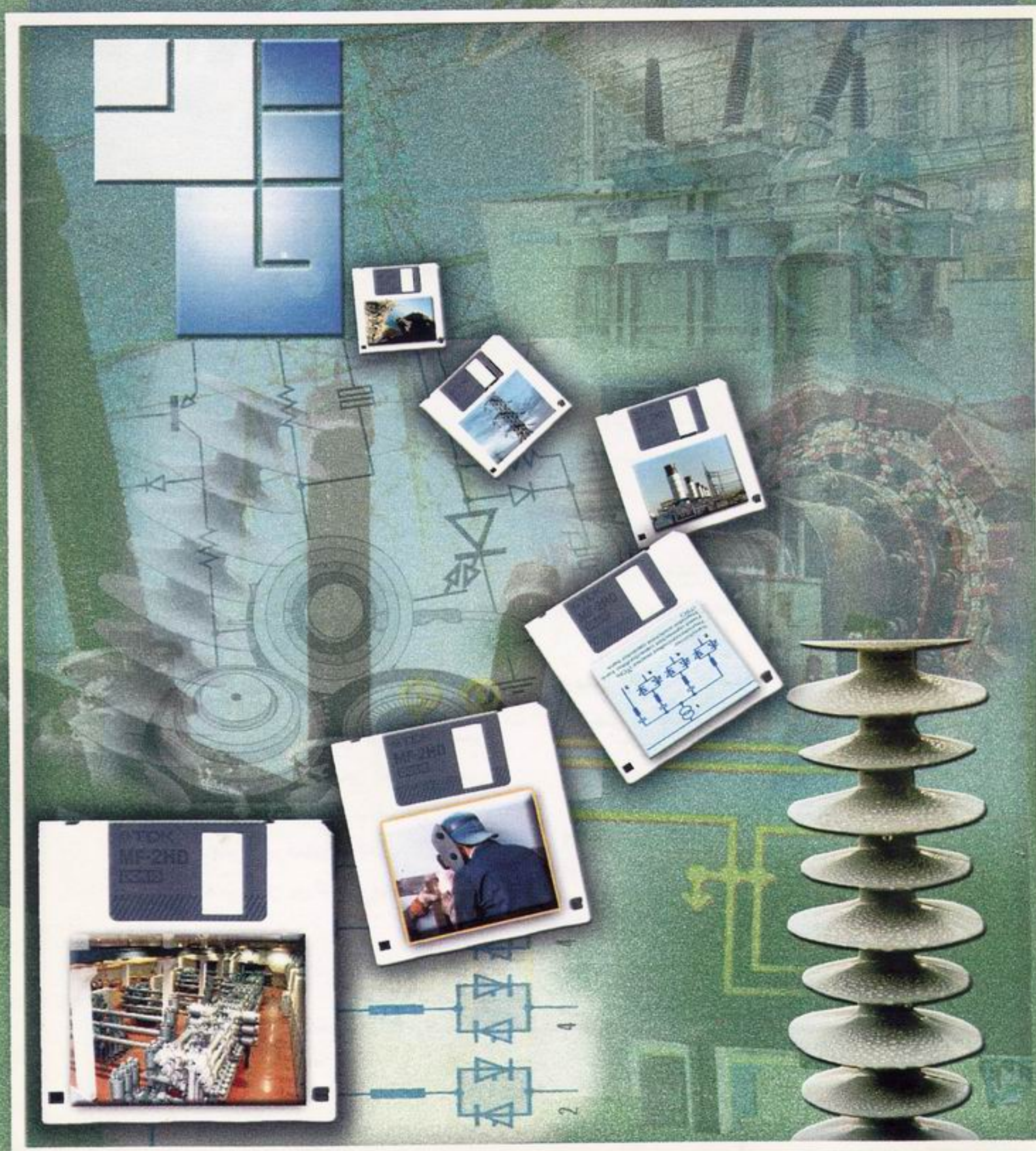
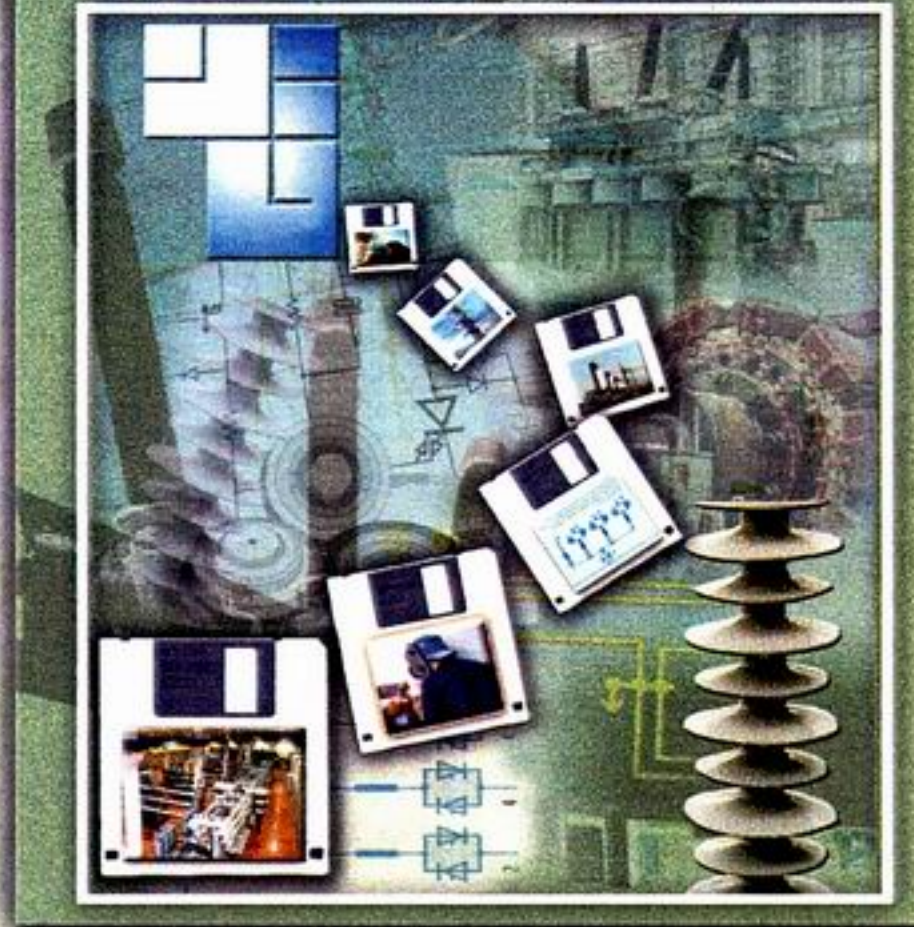


شماره اول - بهار ۱۳۸۱

تشریح تخصصی قدس نیرو





فهرست مقالات

۲ سرمقاله

اهمیت و اثرات مؤلفه قائم زلزله در طراحی
سازه‌ها - مهندس علی قنبری و مهندس
۳ کامبیز شیرزادی

قابلیت اطمینان در پستهای GIS -
مهندس رضا فخر و مهندس محمد حسن
۱۳ زرگر شوشتری

یک روش جدید برای پخش بار AC-DC
چند ترمیناله - مهندس بیتا هاشمی
۲۵

پیش‌بینی عیب در ترانسفورماتورها به
روش گاز کروماتوگرافی - مهندس
۳۴ سیدنورالدین آل محمد

بررسی تاثیر پارامترهای جوشکاری بر
تنشهای پسماند - مهندس رسول محرمی
۴۱

اثر آلودگی هوا بر مقره‌های زنجیره‌ای و
پست (بخش اول) - مهندس محمد حسن
۵۲ زرگر شوشتری

مدیر مسئول: مهندس احمد شکوری‌راد

سردبیر: مهندس فتانه دوستدار

طراحی و صفحه‌آرایی: امور پشتیبانی
قدس نیرو

هیئت تحریریه:

آقایان: دکتر همایون صحیحی، مهندس شادان
کیوان، دکتر جعفر عسگری، مهندس محمد
حسن زرگر شوشتری، مهندس مسعود
حبیب‌اله‌زاده، مهندس محمدرضا حیدرپور،
مهرداد صارمی، مهندس حسن تفرشی، مهندس
غلامرضا صفارپور، مهندس علی مقیمی،
مهندس فرهاد شاه‌منصوریان، مهندس کیوان
حیدری، مهندس امیرهمایون فتحی.
خانمها: مهندس لادن پورکمالی، مهندس فتانه
دوستدار

بنام خدا

از زمان انتشار اولین شماره نشریه فنی - تخصصی، کاربردی بودن مقالات جهت استفاده از تجربیات علمی و اجرایی فنی و مدیریتی همکاران، هدف اساسی آن بوده است. با این وجود پس از گذشت یکسال از چاپ نشریه علیرغم ارائه مقالات علمی با ارزش هنوز به این هدف دسترسی نیافته‌ایم و این مطلب جز با تلاش و کوشش همکاران علاقه‌مند ممکن نمی‌گردد. از آنجا که در انجام قراردادهای منعقد شده قدس نیرو با کارفرمایان، تجربیات فراوان علمی و اجرایی مربوط به مراحل مختلف از تهیه اسناد فنی تا تست و راه‌اندازی و به موازات آنها کارهای طراحی، تحقیقاتی یا بهینه‌سازی برای پروژه‌های در زمینه‌های مختلف صنعت آب و برق حاصل می‌گردد بسیار مناسب است که از طریق تهیه مقالات علمی و گزارشات فنی و تجربی این اطلاعات بسیار مفید و مؤثر در ارتقاء تخصص و تجربه ارائه گردند.

بهره‌گیری از تجربیات گذشته قدس نیرو، در ارائه خدمات مهندسی و مشاوره‌ای در بیش از یک صد قرارداد جاری و صدها قرارداد که قبلاً خدمات مربوط به آنها ارائه شده و تجربیات آنها در کتابخانه و آرشیو شرکت موجود است، منابع غنی برای تهیه مقالات است که چون مستقیماً مربوط به کارها و مسئولیتهای این شرکت می‌باشد، قطعاً مطالعه آنها مفید خواهد بود. همواره توجه داشته باشیم نشریه‌ای می‌تواند مطلوب باشد که هریک از مقالات آن برای تعداد زیادی از مهندسين و متخصصين قابل استفاده باشد.

ضمن تشکر از همکارانی که طی یکسال گذشته با ارائه مقالات در امر انتقال اطلاعات علمی و تخصصی خود تلاش نموده‌اند، ادامه چاپ نشریه با آن ویژگی توصیف شده منوط است به استقبال همکاران در تهیه و تدوین تجربیات علمی، اجرایی و مدیریتی آنان و ارائه بیدریغ به سردبیر نشریه. امید است دست گرم همکاری شما، دستان نه چندان گرم نشریه را با صمیمت بفشرد تا طی طریق دشوار نشر آن با گرمای دریافت شده سهیل و آسان گردد.

مدیر مسئول

اهمیت و اثرات مؤلفه قائم زلزله در طراحی سازه‌ها

آقایان علی قنبری و کامبیز شیرزادی
کارشناسان ارشد گروه سد و نیروگاه - معاونت سازه‌های آبی

چکیده:

مطالعه رفتار سازه‌ها در مقابل نیروهای قائم و افقی ناشی از زلزله نشان می‌دهد که مؤلفه افقی نیروی زلزله اثرات مخرب‌تری نسبت به مؤلفه قائم خواهد داشت. با این حال در ساختگاههایی که نزدیک چشمه‌های لرزه‌زا بنا می‌گردند نسبت شتاب قائم به افقی زلزله غالباً از مقدار قابل توجهی برخوردار گشته و در این موارد مؤلفه قائم می‌تواند اثرات تخریبی فوق‌العاده‌ای داشته باشد. همچنین در برخی از سازه‌ها از قبیل سدهای خاکی فشار قائم ممکن است منجر به ایجاد تنش‌های کششی شده و به خرابی هسته سد منجر شود. از مجموع موارد مطرح شده اهمیت شتاب قائم استنباط می‌گردد.

در این نوشتار ضمن معرفی جدیدترین روابط پیشنهادی محققین برای برآورد شتاب زلزله در مناطق نزدیک گسل فعال (Near-field)، نظرات آئین‌نامه‌های داخلی و خارجی پیرامون مؤلفه قائم زلزله مورد بحث قرار گرفته است.

۱- مقدمه

پس از وقوع زلزله‌های مخربی نظیر زلزله Northridge در سال ۱۹۹۴ میلادی و زلزله Kobe در سال ۱۹۹۵ میلادی و ثبت رکوردهای زلزله در فاصله نزدیک و مشاهده خصیصه‌ای غیرمنتظره در این رکوردها، موجب تحول در نگرش محققان نسبت به این پدیده طبیعی گردید.

برخلاف انتظار محققان در این دو زلزله، پیک شتاب مؤلفه قائم زلزله از پیک شتاب مؤلفه افقی بزرگتر بود. پدیده فوق، یکی از خصیصه‌های اکثر رکوردهای ثبت‌شده از زلزله‌های دنیا در فاصله نزدیک است. عبارت بهتر در صورت وجود

در سالیان گذشته به علت تراکم کم شبکه‌های لرزه‌نگاری در سراسر جهان هنگامی که زلزله‌ای در نقطه‌ای از زمین روی می‌داد، احتمال ثبت رکوردهای زلزله در فاصله نزدیک به گسل بسیار پائین بود و لذا امکان مطالعه بر روی رکوردهای فاصله نزدیک بسیار کم بود.

در سالهای اخیر به لحاظ گسترش شبکه‌های لرزه‌نگاری و تراکم شدن لرزه‌نگارها در نزدیکی گسل‌ها، امکان ثبت رکوردهای زلزله در فاصله نزدیک تحقق پیدا کرده است

لرزه‌نگارهایی در فاصله نزدیک برای زلزله‌های رخ داده در گذشته، به احتمال قریب به یقین شاهد چنین پدیده‌ای در آن زلزله‌ها هم می‌بودیم.

بنابراین، مشاهده خصیصه فوق از یک سو و آسیب‌ها و خسارات جدی وارد آمده به سازه‌های مقاوم طراحی شده برای مولفه افقی زلزله، این سؤال را برای محققان بوجود آورد که آیا ممکن است علت تخریب و آسیب‌های جدی وارد آمده به سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، اثر مولفه قائم زلزله بر این سازه‌ها باشد. محققان برای پاسخ به پرسش فوق تحقیقات وسیعی را آغاز نمودند. برای این منظور، به بررسی سازه‌های آسیب‌دیده در این دو زلزله پرداختند و براساس نقشه‌های اجرایی، مدلهایی از این سازه‌ها را تهیه نمودند. سپس این مدل‌ها را تحت اثر رکوردهای مولفه افقی و قائم زلزله ثبت شده در آن ناحیه آنالیز نمودند و رفتار این سازه‌ها را در زلزله مورد بررسی قرار دادند و نقاط ضعف و مکانیزم خرابی این سازه‌ها را مشخص ساختند. به علت تطابق مشاهده‌شده از نقاط آسیب‌دیده و مکانیزم خرابی سازه در مقایسه با نقاط ضعف و مکانیزم خرابی در مدل، محققان به ضعف سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، برای مقابله با اثر مولفه قائم زلزله پی بردند. علت ضعف سازه‌ها در برابر اثر مولفه قائم زلزله را باید در دستورالعمل‌های طراحی یا به عبارت بهتر در آئین‌نامه‌های زلزله جویا شد.

۲- اهمیت شتاب قائم در طراحی

امواج زلزله در جهت‌های مختلف انتشار یافته و به سازه‌های واقع شده روی سطح زمین شتاب وارد می‌نمایند. معمولاً رکوردهای شتابنگاشت زلزله در

دو جهت افقی (شمالی جنوبی و شرقی غربی) و یک جهت قائم ثبت می‌گردند. با این حال شتاب افقی غالباً مورد توجه بیشتری واقع شده و طراحی سازه‌ها برای تحمل بار زلزله با در نظرگیری مولفه افقی شتاب زلزله صورت می‌پذیرد. با این حال مطالعه رفتار سازه‌ها در مقابل نیروهای قائم و افقی نشان می‌دهد که در برخی از سازه‌ها مولفه قائم زلزله ممکن است به مراتب اثرات مخرب‌تری نسبت به مولفه افقی داشته باشد. از طرف دیگر شتاب قائم در پاره‌ای از ساختگاههای مجاور چشمه لرزه‌زا از مقدار زیادی برخوردار است و حتی ممکن است نسبت آن به شتاب افقی از واحد افزون‌تر گردد. با این تفاسیر ضرورت توجه به این مولفه زلزله روشن می‌گردد. در موارد زیر اهمیت مولفه قائم زلزله با توجه به شرایط ساختگاه و یا سازه بیشتر بوده و ممکن است در طراحی نقش تعیین کننده را داشته باشد.

- در ساختگاههای نزدیک چشمه‌های با توان لرزه‌زایی بالا (Near-field) نسبت حداکثر شتاب قائم به افقی بیش از حد معمول بوده و ممکن است از مقدار واحد نیز بیشتر باشد.
- شتاب قائم در برخی از شرایط ممکن است منجر به افزایش فشار آب حفره‌ای و یا ایجاد تنش‌های کششی در سازه‌های خاکی گردد. با توجه به رفتار ضعیف سازه‌های خاکی در این شرایط ممکن است وضعیت نامطلوبی در عملکرد این سازه‌ها بوجود آید.
- شتاب قائم در برخی از اعضاء ساختمانها نظیر تیرهای طره‌ای و ستونها موجب کاهش بار بحرانی کمانش گردیده و تغییر شکل‌ها را افزایش دهد.

از مجموع موارد یاد شده اهمیت در نظرگیری شتاب قائم در طراحی سازه‌ها استنباط می‌گردد. با این حال برخی از محققین به خنثی شدن مولفه قائم شتاب زلزله توسط نیروی وزن، عدم وقوع همزمان حداکثر شتاب افقی و قائم و کم‌خطر بودن تغییر مکانهای قائم استناد کرده و در نظرگیری شتاب قائم را برای سازه‌های معمولی ضروری نمی‌دانند.

۲-۱- تعریف Near-field

مطالعات محققین نشان میدهد که اثر زلزله در مناطق نزدیک به گسل مسبب لرزه روند متفاوتی نسبت به مناطق دورتر از چشمه لرزه‌زا (Intermediate and far-field) دارد. در مناطق نزدیک به چشمه‌های لرزه‌زا نسبت شتاب قائم به شتاب افقی بیشتر از مناطق دورتر می‌باشد. برای تعیین این موضوع لازم است که ابتدا تعریف مشخصی برای Near-field ارائه گردد. واضح است که شعاع این ناحیه تابع بزرگی از زلزله خواهد بود.

در شکل (۱) نظرات محققین مختلف راجع به فاصله این ناحیه از چشمه لرزه‌زا ارائه گردیده است. همانگونه که دیده می‌شود برخی از محققین بر این عقیده هستند که ناحیه Near-field با افزایش زلزله وسیع‌تر می‌گردد. با این حال برخی دیگر از محققین از جمله Bolt & Abrahamson, (1982) بدون توجه به بزرگی زلزله برای بیان این ناحیه یک عدد ثابت ارائه کرده‌اند. همچنین Ambraseys & Simpson (1996) و Nisar & Golesorki (1995) یک حد پائین برای بزرگی زلزله قائل شده‌اند.

۳- مطالعات انجام شده پیرامون برآورد

شتاب قائم زلزله

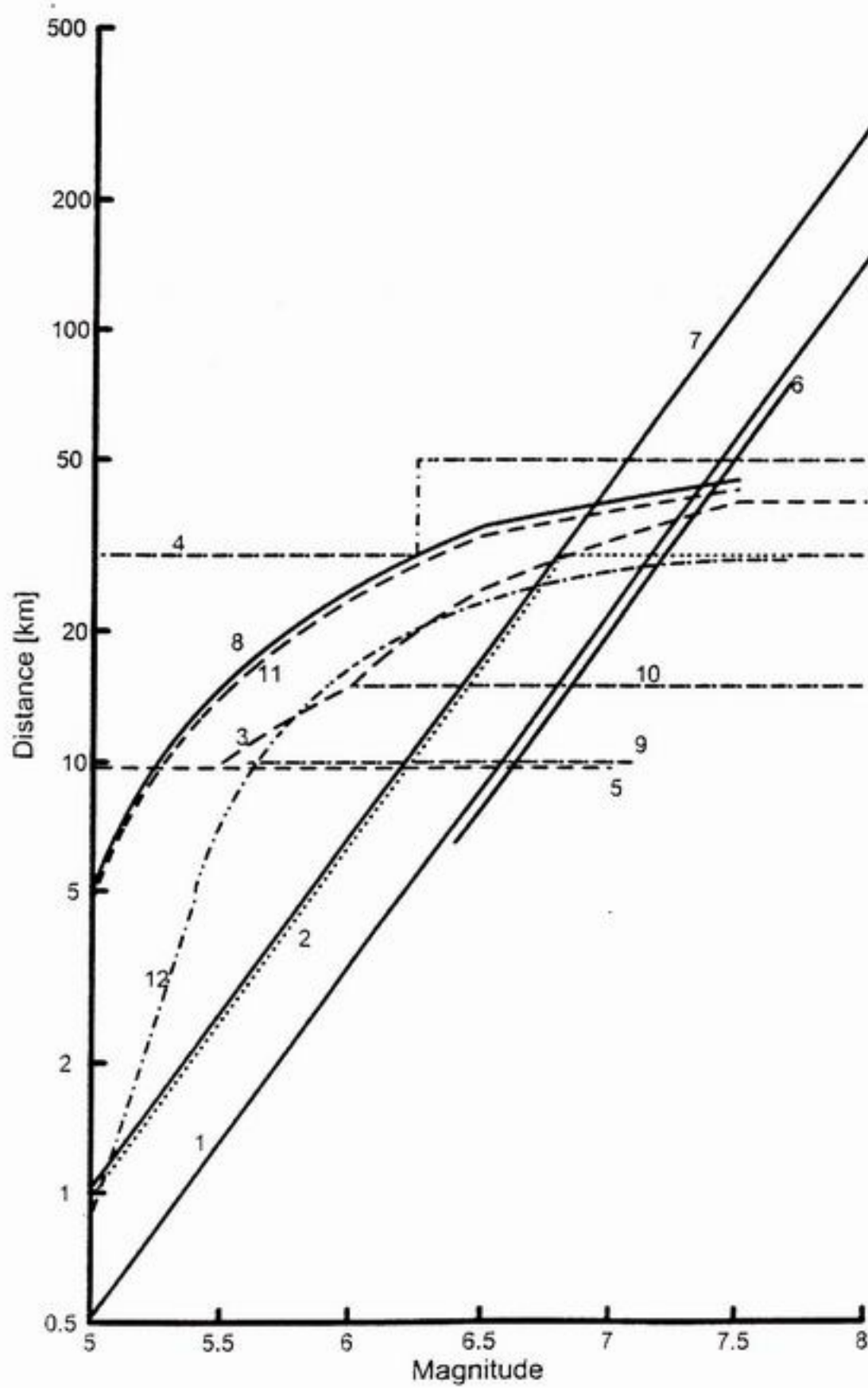
محققین متعددی پیرامون برآورد و اهمیت شتاب قائم در تحلیل و طراحی سازه‌ها به تحقیق پرداخته‌اند که از آن جمله می‌توان به Abrahamson and Litehiser (1989), Oshaki et al. (1980a), Ambraseys and Douglas (2000), Campbell and Bozorgnia (2000), Orabi and Ahmadi (1986) اشاره کرد. با این وجود هنوز برخی از مبانی و جنبه‌های کاربردی این مبحث در ابهام قرار دارد. در اینجا به ذکر خلاصه‌ای از نتایج جدیدترین مطالعات از میان موارد ذکر شده پرداخته می‌شود.

۳-۱- مطالعات Ambraseys and Douglas

Ambraseys and Douglas (2000) با استفاده از رکوردهای مربوط به ایستگاههای نزدیک گسل (Near-field) که فاصله از مرکز زلزله در آنها کمتر از ۱۵ کیلومتر و عمق کانونی کمتر از ۲۰ کیلومتر بوده است، معادله زیر را برای برآورد مدل حرکتی زمین ارائه نموده‌اند. یادآوری می‌گردد در شرایط ذکر شده برای فاصله ایستگاه شتاب قائم از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌گردد.

$$\log y = b_1 + b_2 M_s + b_3 d + b_4 S_A b_s S_s$$

که در آن y بر حسب متر بر مجذور ثانیه شتاب افقی و قائم در سطح PGA را ارائه می‌دهد. برای PGA افقی و قائم مقادیر پارامترهای مدل در جدول زیر ارائه گردیده‌اند.



شکل (۱) - منحنی‌های ارائه شده توسط محققین مختلف برای بیان محدوده Near-field

جدول (۱) - پارامترهای مدل Ambraseys and Douglas (2000)

σ انحراف معیار	b_s	b_A	b_3	b_2	b_1	
0.214	0.029	0.020	-0.0238	0.202	-0.659	PGA افقی
0.270	0.075	0.024	-0.0312	0.226	-0.959	PGA قائم

همانگونه که دیده می‌شود این نسبت همواره کوچکتر از واحد خواهد بود. در شکل (۲) این رابطه برای تمامی زلزله‌ها به صورت خط پر و برای نسبت ۸۴٪ کل زلزله‌ها به صورت خط چین نشان داده شده است.

همچنین اثر شرایط محلی با استفاده از پارامترهای S_s و S_A بیان گردیده است. این پارامترها برحسب جنس زمین مطابق جدول (۲) بدست می‌آیند.

رکوردهای مورد استفاده برای استخراج این مدل

جدول (۲) - اثر شرایط محلی زمین در پارامترهای مدل Ambraseys and Douglas (2000)

S_s	S_A	محدوده سرعت موج برشی $V_{s,30}$ (متر بر ثانیه)	توصیف جنس زمین	طبقه‌بندی زمین
۱	۰	$V_{s,30} < 180$	خاکهای خیلی نرم	L
۱	۰	$180 < V_{s,30} < 360$	خاکهای نرم	S
۰	۱	$360 < V_{s,30} < 750$	خاکهای سخت	A
۰	۰	$V_{s,30} > 750$	سنگ	R

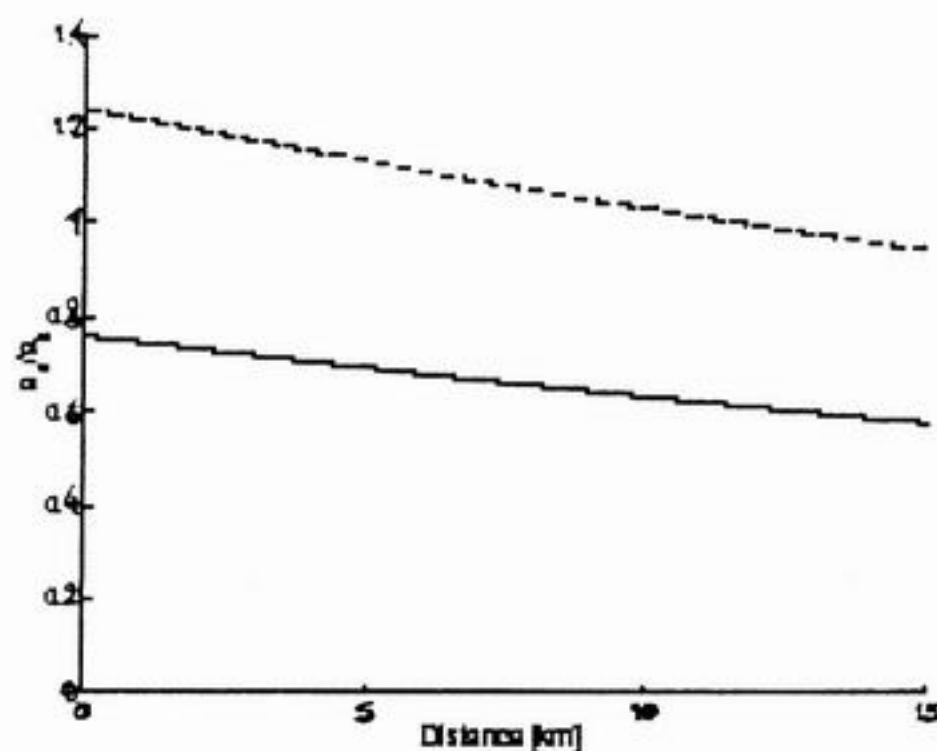
۳-۲- مطالعات Campbell and Bozorgnia

(Campbell and Bozorgnia 2000) بر مبنای رکوردهایی از نواحی با تکتونیک فعال در بخش کم عمق پوسته زمین و با در نظرگیری مکانیزم‌های مجزا برای گسل‌های لرزه‌زا (راستالغز، معکوس و فشاری) مدل حرکت زمین را به صورت ضمیمه (۱) ارائه کرده‌اند.

از نقاط مختلف دنیا جمع‌آوری گردیده و منبع لرزه آنها گسل‌های با مکانیزم نرمال، راستالغز و یا فشاری بوده است.

بر مبنای مطالعات و روابط ارائه شده توسط این محققین نسبت شتاب قائم به شتاب افقی برحسب فاصله از چشمه‌لرزه‌زا به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\log\left(\frac{a_v}{a_h}\right) = -0.119 - 0.00799d$$



شکل (۲) - نسبت شتاب قائم به افقی در نزدیکی چشمه‌لرزه‌زا (Ambraseys & Douglas, 2000)

جدول (۳) - پارامترهای مدل Campbell and Bozorgnia (2000)

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	σ
PGA افقی (تصحیح نشده)	-2.896	0.812	0	-1.318	0.187	-0.029	-0.064	0.616	0.0	0.0	0.179	0.307	0	-0.062	-0.064	-0.320	0.509
PGA قائم (تصحیح نشده)	-2.807	0.756	0	-1.391	0.191	0.044	-0.014	0.544	0.0	0.0	0.091	0.223	0.0	-0.096	-0.212	-0.199	0.548
PGA افقی (تصحیح شده)	-4.033	0.812	0.036	-1.061	0.041	-0.005	-0.018	0.766	0.034	0.0	0.343	0.351	0.0	-0.123	-0.138	-0.289	0.465
PGA قائم (تصحیح شده)	-3.108	0.756	0	-1.287	0.142	0.046	-0.040	0.587	0.0	0.0	0.253	0.173	0.0	-0.135	-0.138	-0.256	0.520

جدول (۴) در نظر گرفته شده و ضرائب هریک در مدل کلی اعمال می‌گردد. همچنین ساز و کار گسل‌ها در سه گروه مجزا طبقه‌بندی شده و برای هریک از آنها یکی از ضرائب F_{TH} و F_{RV} ، F_{SS} و F_{SH} حائز مقدار واحد می‌گردد.

در این مدل شتاب y بر حسب g محاسبه شده و برای PGA تصحیح نشده و تصحیح شده افقی و قائم ضرائب مدل از جدول (۳) بدست می‌آیند. همچنین در این مدل برای اعمال تاثیر شرایط محلی چهار گروه مجزا برای جنس زمین مطابق

جدول (۴) - اثر شرایط محلی زمین در پارامترهای مدل (Campbell and Bozorgnia (2000)

طبقه‌بندی زمینی	توصیف جنس زمین	حدود سرعت متوسط موج برشی در ۳۰ متر بالایی (متر بر ثانیه)	S _{HS}	S _{PS}	S _{SR}	S _{HR}
HS (رسوبات هلوسن)	رسوبات هلوسن (کمتر از ۱۱۱۰۰۰ سال) که در نقشه‌های زمین‌شناسی تحت عنوان recent all vium مورد اشاره قرار می‌گیرند.	290	1	0	0	0
PS (رسوبات پلیوسن)	رسوبات پلیوسن (۱۱۰۰۰ یا ۱/۵ میلیون سال) که در نقشه‌های زمین‌شناسی با عنوان alluvium or terrace deposits قرار می‌گیرند.	370	0	1	0	0
SR (سنگ سست)	سنگهای رسوبی با عمر ۱/۵ تا ۱۰۰ میلیون سال	420	0	0	1	0
HR (سنگ سخت)	سنگهای رسوبی قدیمی، سنگهای دگرگونی و سنگهای بلورین	800	0	0	0	1

جدول (۵) - تاثیر سازوکار گسل در مدل (Campbell and Bozorgnia (2000)

طبقه‌بندی سازوکار	توصیف سازوکار	F _{SS}	F _{RV}	F _{TH}
SS (Strike-slip)	Primarily vertical or near- vertical faults with predominantly lateral slip (includes only normal faulting earthquake in set)	1	0	0
RV (Reverse)	Steeply dipping faults with either reverse or reverse-oblique slip	0	1	0
Th (Thrust)	Shallow dipping faults with predominantly thrust slip including blind-thrust shocks.	0	0	1

۴- نظرات آیین‌نامه‌های طراحی پیرامون

مولفه قائم زلزله

امروزه تمامی آئین‌نامه‌های زلزله در دنیا ضوابطی را برای مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر اثر مولفه افقی زلزله تبیین نموده‌اند، اما در برخورد با اثر مولفه قائم زلزله، دیدگاه‌های متفاوتی داشته‌اند. حتی برخی از آئین‌نامه‌ها از طراحی سازه برای مولفه قائم زلزله صرف‌نظر کرده‌اند.

در زیر به دلایل عملکرد این گونه آئین‌نامه‌ها از دیدگاه محققین اشاره شده و در ادامه آن، به بررسی آئین‌نامه‌های ای-یران، UBC-97 و NEHRP-95 که امکان دسترسی به آن‌ها وجود داشت، پرداخته‌ایم. دلایل عملکرد آئین‌نامه‌های فوق‌الذکر:

الف- همانطور که اشاره شد، در سالهای گذشته عقیده بر آن بود که پیک شتاب مولفه افقی زلزله همواره از پیک شتاب مولفه قائم آن بسیار بزرگتر می‌باشد و لذا بیشترین خسارات وارده به سازه‌ها در هنگام زلزله مربوط به مولفه افقی زلزله می‌باشد. حال آنکه در سالهای اخیر به لحاظ گسترش شبکه‌های لرزه‌نگاری و امکان ثبت رکوردهای زلزله در فواصل نزدیک به گسل مشاهده گردیده است که در فواصل نزدیک به گسل نه تنها پیک شتاب مولفه قائم زلزله از پیک شتاب مولفه افقی آن کمتر نیست بلکه ممکن است به همان بزرگی و حتی بیش از آن نیز برسد.

ب- برخی از طراحان بر این عقیده بودند که سازه‌ها به واسطه طراحی برای یک ضریب اطمینان بزرگ جهت مقاومت در برابر بارهای ثقلی، قابلیت مقاومت در برابر نیروهای اضافی ناشی از ارتعاش قائم را نیز دارند. این درحالی است که در زلزله‌های نامبرده شده خلاف این مسأله ثابت شد.

ج - تحقیقات انجام گرفته بر روی رکوردهای مولفه قائم زلزله نشان داده است که محتوای انرژی مولفه قائم زلزله از محتوای انرژی مولفه افقی زلزله کمتر است. لذا عده‌ای از محققان براین عقیده‌اند که خسارات وارده به سازه‌ها به علت محتوای بالاتر انرژی مولفه افقی زلزله است و لذا در طراحی باید به مولفه افقی زلزله توجه نمود، حال آنکه انرژی وارده به سازه در یک زلزله، مجموع انرژی مولفه‌های قائم و افقی زلزله است. از طرف دیگر تحقیقات نشان داده است که پی‌یود غالب طیف مولفه قائم زلزله از پی‌یود غالب طیف مولفه افقی زلزله کوچکتر است و دقیقاً نزدیک به پی‌یود اصلی مود ارتعاش قائم بسیاری از سازه‌ها است و این نزدیکی موجب ایجاد پاسخهای بزرگ در سازه‌ها و بعضاً تشدید گردیده است.

بررسی دلایل و نقایص فوق نشان می‌دهد که ایده عدم در نظرگیری اثر مولفه قائم زلزله در طراحی سازه‌ها ناشی از عدم شناخت کافی از خصوصیات مولفه قائم زلزله و اثرات مخرب این مولفه در خسارات وارده به سازه‌ها در زلزله‌های گذشته است. در اینجا خلاصه‌ای از نظرات آیین‌نامه‌های طراحی پیرامون مولفه قائم زلزله ارائه می‌گردد.

الف - آئین‌نامه ایران

آئین‌نامه ایران، طراحی سازه را به طراحی برای مقاومت در برابر مولفه افقی زلزله محدود نموده است و در طرح کلی سازه، از اثر مولفه قائم زلزله چشم‌پوشی نموده است.

این آئین‌نامه، تنها در بند ۲-۴-۱۵ خود، با عنوان "مولفه قائم نیروی زلزله" اثر مولفه قائم زلزله را برای طراحی بالکن‌ها و پیش‌آمدگی‌هایی که به صورت طره ساخته می‌شوند، لازم دانسته است.

ب - آئین‌نامه UBC-97

این آئین‌نامه در ترکیب بارگذاری خود، نیروی زلزله را با پارامتر E معرفی نموده است که مطابق بند ۱۶۳۰ این آئین‌نامه، نیروی زلزله E را ترکیبی از مولفه افقی و قائم دانسته است و اثر مولفه قائم را بصورت یک نیروی اضافی جانبی بر سازه در نظر گرفته است.

این آئین‌نامه همچنین در بند ۱۱-۱۶۳۰ خود با عنوان Vertical Component اثر مولفه قائم زلزله را برای طراحی طره‌های افقی و اعضای پیش‌تینده افقی لازم دانسته است.

این آئین‌نامه در بند ۱۶۳۱ خود تحت عنوان Dynamic Analysis Procedures بیان نموده است که چنانچه انجام آنالیز دینامیکی برای سازه ضرورت داشته باشد، لرزش زمین باید تنها تحت اثر یکی از پنج طیف یا تاریخچه زمان زلزله مشخص شده در بند ۲-۱۶۳۱ باشد. همچنین مطابق مورد پنجم از بند ۲-۱۶۳۱، لرزش قائم زلزله به واسطه مقیاس نمودن مولفه افقی زلزله با ضریب $\frac{2}{3}$ بدست می‌آید اما چنانچه ضریب

نزدیکی ساختگاه به چشمه لرزه‌زا، از واحد بزرگتر باشد، لازم است به جای ضریب $\frac{2}{3}$ ، از طیف قائم مخصوص به آن ساختگاه استفاده شود.

ج - آئین‌نامه NEHRP-95

این آئین‌نامه در طراحی استاتیکی خود از نیروی زلزله به عنوان پارامتر E یاد نموده است. این پارامتر در بند ۲-۲-۶ تعریف شده، که ترکیبی از اثر مولفه افقی و قائم می‌باشد. مطابق این تعریف، اثر مولفه قائم زلزله در این آئین‌نامه به صورت یک نیروی جانبی اضافی در نظر گرفته شده است. این آئین‌نامه، همچنین در بند ۳-۴-۵-۲ خود تحت عنوان Vertical Seismic Forces عنوان نموده است که طره‌های افقی و اعضای پیش‌تینده افقی، علاوه بر طراحی برای نیروی بند ۶-۲-۲ باید برای تحمل نیرویی معادل $\frac{0}{2}$ وزن خود در جهت بالا طرح گردند.

البته لازم است تحقیق دقیق و جامعی بر روی ضوابط این آئین‌نامه‌ها صورت پذیرد و سازه‌هایی مطابق این آئین‌نامه طراحی شوند و سپس این سازه‌ها تحت اثر همزمان مولفه قائم و افقی زلزله قرار گیرند و مشخص گردد که آیا سازه‌هایی که مطابق دستورالعمل‌های این آئین‌نامه‌ها طراحی می‌شوند، قادر به مقاومت در برابر اثر همزمان مولفه افقی و قائم خواهند بود یا خیر.

۵- مراجع

- 1- N. Ambrasyes & J. Douglas, 'Reappraisal of the effect of vertical ground motions on response'. ESEE report No.00-4, August 2000.

دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و از همان سال در قدس نیرو نیز مشغول بکار هستند. فعالیت آقای قنبری در زمینه سد و نیروگاه آبی بوده و علاقه‌مندی ایشان نیز بیشتر در زمینه سدسازی و طراحی سدهای خاکی است.

آقای کامبیز شیرزادی لیسانس مهندسی عمران از دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۷۹) بوده و در حال حاضر در دوره کارشناسی ارشد مهندسی زلزله در دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی مشغول به تحصیل می‌باشد. ایشان از سال ۱۳۷۹ تاکنون در قدس نیرو در طراحی سازه‌های چند سد فعالیت داشته و علاقه‌مندی ایشان نیز در همین زمینه است.

- 2- J. Douglas, "A Comprehensive Worldwide Summary of Strong-Motion Attenuation Relationships for Peak Ground Acceleration and spectral Ordinates", ESEE Report No. 01-1, January 2001.
- 3- Bozorgnia, Y., Campbell, K.W., & Niazi, M., "Observed Spectral Characteristics of Vertical Ground Motion Recorded During Worldwide Earthquacks from 1957 to 1995. In: Proceedings of Twelfth World Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 2671.", 2000.

۴- دکتر فخرالدین دانش و آرش چگنی‌زاده
بررسی اثر مولفه قائم زلزله بر رفتار سازه‌ها،
سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه
نصیرالدین طوسی (۱۳۷۹).

۵- آئین نامه زلزله ایران (۲۸۰۰) - ویرایش دوم

۶- آئین نامه UBC-97

۷- آئین نامه NEHRP-95

آقای علی قنبری لیسانس مهندسی عمران از دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۷۱) و فوق‌لیسانس مهندسی مکانیک خاک و پی‌سازی از دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران) می‌باشد. ایشان از سال ۱۳۷۴ تاکنون مشغول تحصیل در دوره دکترای عمران گرایش مکانیک خاک در

ضمیمه (I):

$$\begin{aligned} \ln y = & c_1 + c_2 M_w - c_3 (8.5 - M_w)^2 + c_4 \ln \left(R_s^2 + [(c_5 + c_6 \{S_{PS} + S_{SR}\} + c_7 S_{HR}) \right. \\ & \left. \exp(c_8 M_w + c_9 \{8.5 - M_w\}^2)]^{1/2} \right) + c_{10} F_{SS} + c_{11} F_{RV} + c_{12} F_{TH} + c_{13} S_{HS} + c_{14} S_{PS} + \\ & c_{15} S_{SR} + c_{16} S_{HR} \end{aligned}$$

قابلیت اطمینان در پستهای GIS

آقای رضا فخر - کارشناس ارشد برق

آقای محمدحسن زرگرشوستری - مدیر پروژه‌های برق منطقه‌ای فارس، باختر و گیلان

معاونت مهندسی پستهای انتقال

چکیده:

در این مقاله پس از مروری بر نتایج آمار منتشر شده توسط نهادهای بین‌المللی در مورد قابلیت اطمینان سوئیچگیر GIS، عوامل مختلف مؤثر بر قابلیت اطمینان یک سوئیچگیر GIS در مراحل مختلف اجرای پروژه از زمان تولید تا پایان عملیات نصب مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. علاوه بر این علل اصلی خرابی و پدیده‌های خاص مرتبط با عملکرد تجهیزات GIS در ارتباط با بهره‌برداری عادی و تأثیر آنها بر قابلیت اطمینان سیستم بیان شده‌اند. کاربرد روش مونتئورینگ در پیش‌بینی و جلوگیری از خرابیهای عمده پایان‌بخش مقاله می‌باشد.

۱- مقدمه

اگرچه در بسیاری از مقالات قابلیت اطمینان پستهای GIS به عنوان مزیت اصلی آنها در مقایسه با پستهای AIS عنوان می‌شود اما در واقع قابلیت اطمینان سیستم تابعی پیچیده از تمامی عوامل مؤثر در وقوع خرابی بوده، احتمال تأثیر هر یک از این عوامل و شدت تأثیر آنها در سطوح مختلف ولتاژ و مراحل مختلف وجود دارد. بدون شک هرگز نمی‌توان به شرایط ایده‌آل یعنی داشتن یک سیستم فارغ از اشکال و بی‌نیاز از تعمیر و نگهداری رسید اما مطمئناً تکنولوژی نوین به همراه بیش از ۳۰ سال تجربه در ساخت پستهای GIS و درک بهتر خواص آنها در طی این دوره نقش بسزایی در افزایش قابلیت اطمینان سوئیچگیرهای GIS داشته است. در مقابل عواملی

مانند قرار داشتن تجهیزات اصلی درون محفظه محتوی گاز SF₆ و بدور ماندن از شرایط بد محیطی مانند گرد و غبار طبیعی و صنعتی، برف و باران، اکسیداسیون و گازهای خطرناک که دلیل اصلی بالاتر بودن قابلیت اطمینان پستهای GIS در مقایسه با پستهای AIS می‌باشد. مواردی همانند نیاز به انجام عملیات پیچیده‌تر تعمیر بر روی سوئیچگیر GIS در زمان وقوع خرابیهای عمده قرار دارد. معمولاً در چنین هنگامی سازنده GIS برای انجام عملیات تعمیر فراخوانده می‌شود. به دلیل اینکه خرابیهای عمده به ندرت در GIS رخ می‌دهد برای سازمان بهره‌بردار تأمین افراد ورزیده که قابلیت انجام عملیات پیچیده و حساس را بر روی سوئیچگیر GIS داشته باشند مشکل خواهد بود. همچنین نگهداری و حفظ کیفیت لوازم بدکی و وسایل خاص تعمیر و نگهداری و تست در

وضعیت مناسب و پس از چندسال بدون استفاده بودن از دیگر مشکلات بهره‌برداران می‌باشد.

مسأله مهمی که هر شبکه بهره‌برداری هنگام خرید سوئیچگیر GIS با آن مواجه می‌شود مسئله خرید لوازم یدکی استراتژیک برای سوئیچگیر می‌باشد. هزینه خرید چنین لوازمی و تنوع آنها زیاد بوده و احتمال استفاده از آنها نیز کم می‌باشد. سازندگان نیز عموماً توصیه‌ای برای خرید لوازم یدکی استراتژیک ندارند. اما در مقابل باید به این نکته نیز توجه داشت که زمان طولانی خاموشی ناشی از عدم دسترسی به موقع به یک قطعه حساس چه صدمه جبران‌ناپذیری بر شبکه وارد خواهد آورد. اهمیت این مسأله هنگامی بیشتر آشکار می‌شود که سازنده سوئیچگیر تولید آن مدل خاص از GIS را پس از چند سال از زمان فروش آن متوقف کرده و یا تغییراتی را در بخش‌های اساسی آن اعمال نماید. در حالیکه هدف اصلی سازنده و مصرف‌کننده افزایش قابلیت اطمینان سوئیچگیر و بهره‌برداری بدون اشکال از آن می‌باشد، در عین حال هر دو گروه می‌بایست آمادگی رفع هرگونه مشکل را در هر زمان و در هر نقطه از سوئیچگیر داشته باشند تا خسارات جنبی وارد شده به شبکه به حداقل ممکن برسد.

۲- قابلیت اطمینان در GIS

برای کسانی که اجزاء یک سوئیچگیر را طراحی، تست و تولید می‌کنند، برای مهندسی که ایستگاههای برق را طراحی می‌کنند و برای کسانی که قابلیت اطمینان سیستم را مطالعه کرده و سیاستهای تعمیر و نگهداری را تدوین می‌کنند، انتشار نتایج مطالعات بر روی اجزاء شبکه انتقال و داده‌های آماری جمع‌آوری شده بسیار مهم می‌باشد. فرم نظرسنجی بین‌المللی که هر

پنج سال یکبار توسط CIGRE در بین مصرف‌کنندگان، مشاوران و تولیدکنندگان به گردش درمی‌آید اطلاعات زیادی درباره انواع خرابی و روند تغییرات قابلیت اطمینان سوئیچگیر در طول ۱۵ یا ۲۰ سال گذشته ارائه می‌کند. نتایج دومین پرسشنامه که در سال ۱۹۹۸ به چاپ رسید به طور مشخص بر روی تعداد خطاهای ایجاد شده در هر بخش GIS و علائم و دلایل خطا به صورت آماری تکیه دارد. علیرغم نتایج متناقض به دست آمده در بعضی بخشها، یکسان نبودن تعداد خطاها در سراسر نقاط دنیا و سهم هر کشور در نظرسنجی مزبور، نتایج کلی جداول ارائه شده مربوط به تعداد خرابیها نشان دهنده افزایش قابلیت اطمینان سیستم در مقایسه با نظرسنجی اول می‌باشد.

در رابطه با خرابی در GIS موارد زیر بالاترین درصد را در زیرشاخه‌های مربوط به خود داشته‌اند:

- خرابی بریکر به عنوان عمده‌ترین تجهیز در بین قطعات اصلی
- خرابی مکانیزم تجهیزات فشار قوی به عنوان عمده‌ترین تجهیز بین وسایل جانبی
- شکست عایقی به عنوان اصلی‌ترین نشانه خرابی
- شرایط کار عادی به عنوان شرایط وقوع خرابی
- اشتباه سازنده به عنوان دلیل اصلی خرابی
- جایگزینی قطعه به عنوان رایج‌ترین نوع تعمیر
- خروج یک فیدر کامل از مدار به عنوان نتیجه مشخص خرابی

نتایج نهایی نشان دهنده طولانی‌تر شدن فاصله زمانی بین هر دوره عملیات نگهداری و طول عمر قابل انتظار GIS می‌باشد. نشستی گاز SF₆ در حد

و تجربیات سازنده بیشترین نقش را در این میان بازی می‌کنند. در ادامه مقاله به بررسی عوامل مؤثر شناخته شده بر قابلیت اطمینان سیستم پرداخته می‌شود.

۳- نقش طراحی و ساخت در قابلیت اطمینان

سیستم

در هنگام طراحی سازنده می‌بایست با استفاده از امکانات خود محاسبات لازم را در ارتباط با میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی، رفتار حرارتی سوئیچگیر، استقامت عایقی تحت شرایط عادی و غیرعادی همچون زلزله در نظر بگیرد. تعیین اینکه کیفیت مواد عایقی بکار رفته در GIS در کارخانه چگونه تضمین می‌گردد غیرممکن می‌باشد. چراکه راه‌حل استاندارد برای این مسئله وجود ندارد و اکثراً وابسته به تکنولوژی و دانش افرادی است که در آن کارخانه کار می‌کنند. برای مثال انتخاب مواد، روش تولید قطعات (ریخته‌گری محفظه‌ها و یا جوش کاری)، استفاده از عایق‌های رزینی مقاوم در برابر اثرات مواد حاصل از تجزیه SF₆ و یا عدم استفاده از آنها نه تنها بر ابزار تولید بلکه بر کل فرآیند تولید (پاکیزگی و آماده‌سازی محیط کار) تأثیر گذار می‌باشد.

هنگام انجام عملیات تعمیر و نگهداری و همچنین توسعه پست شاید مهمترین چیزی که هر سازنده‌ای هنگام طراحی سوئیچگیر مدنظر قرار می‌دهد توانایی انجام عملیات تعمیر و نگهداری بر روی سوئیچگیر تحت محدودیتهای اعمالی ناشی از بی‌برقی می‌باشد. استاندارد IEC 517 تصریح می‌کند که سوئیچگیر می‌بایست به نحوی به محفظه‌های مختلف تقسیم شود که اثرات قوس الکتریکی ایجاد شده در یک نقطه از سوئیچگیر تنها به یک محفظه محدود شود. عمل جداسازی

قابل قبولی پایین بوده و اغتشاشات الکترومغناطیسی چندان مشکل‌آفرین نبوده‌اند.

نتایج نظرسنجی از مصرف‌کننده درباره علل اصلی خرابی در GIS در ۱۲ شاخه مختلف در جدول زیر نشان داده شده‌اند.

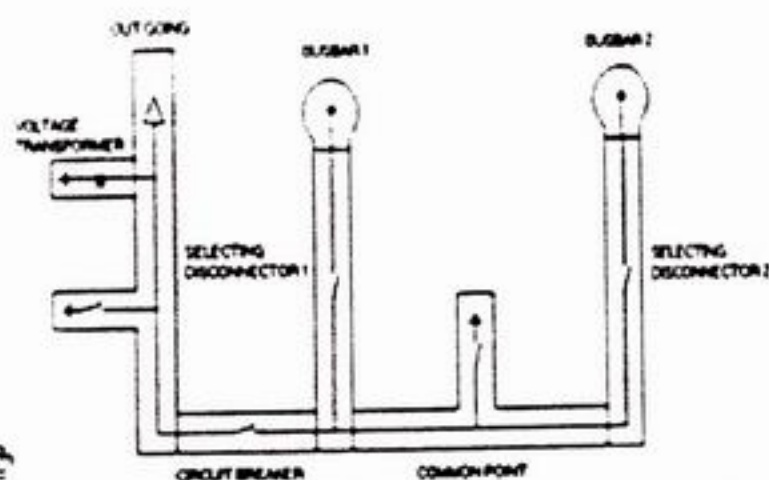
Cause of the failure from GIS voltage class point of view

Cause of the failure (whole period)	GIS in total %	Class 2 %	Class 3+4+5 %
Total number of answers (reported failures)	801 =100%	427 =100%	341 =100%
Design	13.4	5.4	22.9
Engineering	2.4	2.3	1.6
Maintenance	46.7	65.8	24.6
Inadequate Instruction for Erection, Operation, Maintenance	4.1	0.7	8.5
Incorrect transport or Erection	5.0	2.1	7.9
Internal Pollution	4.5	2.1	7.6
Incorrect Operation of Human Error	2.5	2.3	2.6
Incorrect Maintenance	1.6	1.2	2.3
Stress beyond Specification	1.9	0.5	3.5
Environment-Temperature	0.6	0.9	0.3
Environment-Rain- Snow- Storm etc.	0.6	0.5	0.9
Corrosion	1.2	0.5	1.8
Wear, Ageing	10.1	11.7	8.2
Unknown or Other	5.4	4.0	7.3

Voltage class KV	1: 60 < U _n < 100	3: 200 < U _n < 300	5: 500 < U _n < 700
	2: 100 < U _n < 200	4: 200 ≤ U _n < 500	6: U _n > 700

نتایج نشان دهنده این مطلب هستند که سازنده می‌بایست تلاش بیشتری برای افزایش کیفیت کالای خود انجام دهد. گرچه عوامل متعددی در قابلیت اطمینان یک سوئیچگیر GIS مؤثرند، اما کیفیت تجهیزات، بهینه بودن طراحی، سطح ولتاژ

شدن هر دو دیسکانکتور و باسبارها در مثال فوق‌الذکر می‌شود.



تقسیم‌بندی محفظه‌ها در یک سیستم باسبار دابل

این مشکل تعداد فیدرهای بی‌برق شده را بیشتر کرده و دسترسی به بعضی از نقاط را واقعاً مشکل می‌نماید و در مواردی که بتوان با حفظ یک باسبار اقدام به تعمیر و نگهداری کرد بهتر است که از کنار هم قراردادن فیدرهای مهم پرهیز شود.

چنانچه استفاده از GIS در فضای باز موردنظر باشد مسائلی چون خوردگی، تغییرات دما و باران می‌بایست در طراحی مدنظر قرار گیرند. نفوذ آب از طریق فواصل خالی بسیار کوچک ممکن است موجب خوردگی فلز و سپس نشست گاز شود و یا یخ‌زدگی همین قطرات موجب ترک‌خوردگی اسپیسر و مجدداً نشستی گاز شود. از آنجا که ریسک آلودگی فضای داخلی محفظه‌ها در هنگام انجام عملیات نصب و یا تعمیر بیشتر می‌باشد احتمال وقوع شکست عایقی نیز در این حالت بالاتر می‌رود.

نظرات مصرف‌کننده نیز می‌تواند در هنگام طراحی مشکل‌آفرین شود. تمایل بعضی سازمانهای بهره‌بردار به تعیین مشخصات بالاتر از معمول به منظور دستیابی به یک سیستم مطمئن‌تر و تأکید

محفظه‌ها توسط اسپیسر (Spacer) انجام می‌پذیرد. این اسپیسرها که از مواد عایقی ساخته شده‌اند وظیفه تحمل وزن هادی، عایق‌بندی نسبت به زمین و تحمل فشار تفاضلی حاصله در هنگام انجام عملیات تعمیر و نگهداری بر روی محفظه را برعهده دارند. در سازمانهای بهره‌برداری معمولاً این نکته بدیهی فرض می‌شود که انجام عملیات نگهداری روزانه و تعمیرات بر روی هر یک از تجهیزات به راحتی و با کمترین تأثیر بر روی تجهیزات و فیدرهای مجاور انجام‌پذیر می‌باشد. در پست GIS چنین کاری معمولاً به سهولت انجام نمی‌گیرد. اگرچه اکثر طراحیها پیش‌بینی لازم را جهت عملیات نگهداری درنظر می‌گیرند اما انجام عملیات تعمیر اساسی در مواردی مشکل می‌شود.

به عنوان مثال در یک سیستم با باسبار دابل وقوع خطا در محفظه بریکر مشکل‌آفرین نبوده و با بازکردن دیسکانکتورهای مربوط به باسبار هر دو باسبار برق‌دار باقی خواهند ماند. اما چنانچه خطا در یکی از محفظه‌های مربوط به دیسکانکتور رخ دهد چنانچه اسپیسر مشترک بین دو محفظه آسیب ببیند در این صورت هر دو دیسکانکتور و باسبارهای مربوطه می‌بایست بی‌برق شوند. چنین مشکلی معمولاً با در نظرگیری یک محفظه اضافی در نقطه اتصال مشترک دو دیسکانکت مرتفع می‌شود اما اسپیسرها که از مواد رزینی ساخته می‌شوند شکننده بوده و به سادگی با ضربه آسیب می‌بینند و به سبب تجربیات موجود در این مورد بعضی از تولیدکنندگان توصیه می‌کنند که هیچگونه اقدامی جهت دستیابی به محفظه‌هایی که در یک سمت به اسپیسر تحت فشار منتهی می‌شود انجام نپذیرد و بنابراین هرگونه عملیاتی که نیاز به باز کردن و یا تعویض محفظه داشته باشد نهایتاً منجر به تخلیه گاز و در نتیجه بی‌برق

برروی ویژگیهای طراحی بجای قابلیتهای بهره‌برداری در بعضی موارد منجر به طراحی سیستمهای خاصی شده است که خود در نهایت قابلیت اطمینان سیستم را کاهش داده‌اند. برای مثال در یک مورد برای برآورده کردن نظرات مصرف‌کننده در کاهش زمان قطع بریکر تغییراتی در مکانیزم فنری بریکر توسط سازنده سوئیچگیر داده شد. تقویت فنر این سیستم منجر به طراحی سیستمی شد که به دلیل فشار بیشتر وارده بر اجزاء آن در هنگام عملکرد منجر به خرابی بریکر گردید [۷]. استفاده از وسایل استاندارد شده و بکارگیری تجهیزات مدولار به طراح آزادی عمل کامل جهت طراحی سوئیچگیر با سطح اتصال کوتاه و ولتاژ موردنظر خواهد داد.

۴- بریکر

همچنانکه قبلاً نیز به آن اشاره شد عمده خرابیها در GIS، ناشی از بریکر می‌باشد. براساس نتایج منتشر شده از دومین ارزیابی انجام شده برروی قابلیت اطمینان بریکرها از سوی CIGRE، ۴۴ درصد خرابیهای بریکر ناشی از مکانیزم و ۲۵ درصد خرابیها ناشی از وسایل الکتریکی جانبی و کنترلی آن می‌باشند. اما باید توجه داشت که نتایج همین ارزیابی نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان بریکرهای سوئیچگیر GIS به هیچ وجه از بریکرهای AIS پایینتر نبوده و عمدتاً بالاتر می‌باشند. استفاده از تکنولوژی‌های جدید سطح قابلیت اطمینان بریکرها را تا حد زیادی افزایش داده است. همواره در هنگام طراحی سعی در کاهش تعداد اجزاء بریکر بوده است. با این منطق که اگر قطعه‌ای وجود نداشته باشد احتمال خرابی آن نیز وجود ندارد، قابلیت اطمینان بریکرهای امروزی با استفاده از مکانیزمهای فنری ساده‌تر افزایش چشمگیری یافته است. هرچند این نکته

مثبت می‌باشد اما همواره احتمال خرابی وجود دارد. مدارکی که به منظور بهره‌برداری و نگهداری از طرف سازنده در اختیار مصرف‌کننده قرار داده می‌شود اغلب مفید نمی‌باشند. این اطلاعات شامل معیارهای مورد نیاز برای تعیین زمان بین دوره‌های تعمیر و نگهداری بوده و معمولاً با تعداد عملکرد مکانیکی و میزان جریان قطع شده ($\Sigma I^2 t$) در حالت عادی و اتصال کوتاه مشخص می‌شود. اما اطلاعات مورد نیاز جهت پیش‌بینی وضعیت کنتاکتها در شرایط بهره‌برداری واقعی و تحت استرس‌های ناشی از قطع جریان خازنی و القایی معمولاً در دسترس نمی‌باشد. بدیهی است که خستگی کنتاکتها نه تنها بستگی به جریان قطع شده بلکه به نوع بار، طراحی واحد خاموش‌کننده و کل سوئیچگیر به عنوان یک مجموعه بهم پیوسته دارد.

۵- حالات گذرای بسیار سریع (VFTO)

در هنگام بهره‌برداری عادی از GIS، در اثر سوئیچینگ دیسکانکت و بریکر حالات گذرای با ولتاژ بالا و با فرکانسهای بسیار بالا ایجاد می‌شود. در هنگام تست نیز احتمال به وجود آمدن این امواج هنگام وقوع شکست عایقی وجود دارد. شکست ولتاژ در فاصله باز بین کنتاکتهای وسایل سوئیچینگ (یا به زمین در مورد شکست عایقی) در فاصله زمانی ۳ الی ۵ نانوثانیه صورت می‌گیرد. بدلیل کوتاه بودن این زمان احتمال تحریک فرکانسهای شدید تا فرکانس ۱۰۰ مگاهرتز وجود دارد. در داخل GIS فرکانس شدید بستگی به عوامل متعددی چون شکل، سرعت، فاصله بین کنتاکتها و فشار گاز SF₆ دارد. در اکثر موارد این فرکانس بین ۲۰ تا ۵۰ مگاهرتز می‌باشد. امواج گذرای سریع از نظر تأثیر بر محیط اطراف به دو بخش تقسیم می‌شوند: امواج گذرای داخلی و

مردن امروزی کامپیوترها و رله‌های الکترونیکی در اتاق کنترل بدون هیچگونه مشکلی مشغول به کار هستند.

۶- شکست عایقی

رفتار عایقی GIS، بستگی به خواص عایقی گاز SF₆، سطح و خواص درونی مقره‌ها و اسپیسرها دارد. هرگونه نقص در این سه محیط رفتار عایقی را به اشکال مختلف و به درجات متفاوت تحت تأثیر قرار می‌دهد. اشکالات اصلی احتمالی ایجاد شده در این سه محیط را می‌توان به ترتیب زیر بیان کرد:

الف- عایق گازی شامل:

الف-۱- ذرات آزاد معلق

الف-۲- برجستگی و نوک تیزی در الکترودها

ب- سطح عایقها شامل:

ب-۱- ذرات چسبیده به عایقها

ب-۲- شیارهای هادی

ب-۳- آلودگی ناشی از ناخالصیهای گاز

ج- نقص درون ماده عایقی مقره‌های داخل گاز SF₆

الف-۱- ذرات آزاد معلق

ذرات آزاد معلق رایجترین نوع اشکال در سوئیچگیر GIS می‌باشد. در بیشتر موارد این ذرات در مرحله تولید و یا مونتاژ در سایت و یا عملکرد وسایل سوئیچینگ مثل دیسکانکت سریع ایجاد می‌شوند. ذرات آزاد معمولاً از ۱۰ میلی‌متر بزرگتر نیستند. تحت تأثیر میدان الکتریکی این ذرات با بدنه تبادل بار الکتریکی انجام می‌دهند. اگر نیروهای الکتریکی به اندازه کافی بزرگ باشد که به نیروی چسبندگی و جاذبه و اصطکاک غلبه نماید این ذرات در فضای گاز SF₆ به حرکت در

امواج گذرای خارجی. امواج گذرای داخلی باعث اضافه ولتاژ بین هادی داخلی و بدنه GIS می‌شوند، امواج گذرای خارجی باعث افزایش استرس بر روی تجهیزات کنترلی و جانبی می‌شوند.

دامنه امواج گذرای داخلی بین ۱/۵ p.u. تا ۲ p.u. (بر مبنای ولتاژ فاز به زمین) می‌باشند. این اتفاق در هوا و هنگام سوئیچینگ دیسکانکت‌های معمولی نیز رخ می‌دهد اما وقوع آن درون محفظه گاز SF₆ باعث افزایش فرکانس به میزان چند برابر و به وجود آمدن پدیده‌هایی می‌شود که خاص پست‌های GIS است. وقتی امواج به نقطه اتصال بوشینگ به خطوط هوایی می‌رسند قسمتی از آن منتشر، قسمتی از آن منعکس و مابقی صرف افزایش ولتاژ در محل اتصال بوشینگ به محفظه می‌شود (TGPR)^۱. بعضی از تجربیات گزارش شده ناشی از TGPR در GIS عبارتند از:

- عملکرد ناخواسته دستگاههای حفاظت

- جرقه در هوا بین قسمت‌های زمین شده مجاور یکدیگر

اغتشاشات معمولاً از دو راه ممکن است به وسایل الکترونیکی انتقال یابد:

۱- از راه تشعشع: میدان‌های گذرا در قسمت اتصال بوشینگ SF₆ به خطوط هوایی و یا اتصال کابل

۲- از راه هدایت: جریانها و ولتاژهای گذرا از طریق CTها و VTهای GIS و یا از طریق زمین اتصالات مستقیم و کوتاه و با اندوکتانس کم بین بدنه GIS و شبکه زمین در کاهش TGPR نقش مؤثری دارند. افزایش ولتاژ زمین ممکن است هشداردهنده باشد اما در یک GIS با طرحی مناسب به ندرت اتفاق می‌افتد. در تعداد زیادی از پست‌های GIS

می آیند. چنین ذراتی ممکن است هنگام بهره برداری عادی و در وضعیت خاصی موجب شکست الکتریکی شوند. یکی از این وضعیتها VFT ناشی از عملکرد دیسکانکت ها می باشد. با اعمال ولتاژ AC به صورت کنترل شده این ذرات را می توان به فضاهایی در داخل GIS راند که شدت میدان مغناطیسی در آن کم باشد. معمولاً در هنگام تست و راه اندازی با عمل کاندیشنینگ (Conditioning) این عمل انجام می شود.

الف-۲- برجستگی و نوک تیزی روی الکترودها این اشکال عمدتاً توسط آسیب مکانیکی و یا خراشیدگی هنگام نصب تجهیزات ایجاد می شود. معمولاً این برجستگیها فقط هنگامی اثرات قابل توجهی برروی میدان الکتریکی دارند که برروی الکترودها داخلی و نه بدنه محفظه ایجاد شده باشند. افزایش میدان در نقاط نوک تیز منجر به رهاسازی الکترون در فضای مجاور می شود. الکترونهای با بار منفی به ذرات معلق چسبیده و ایجاد یون منفی می نمایند.

بارهای منفی در امتداد خطوط منتهی به اسپیسرها حرکت کرده و برروی آنها بدام می افتند. به دلیل بالا بودن مقاومت سطحی اسپیسرها تجمع بار برروی آنها یکنواخت نبوده و تغییرات شدید میدان الکتریکی را موجب می شوند. اسپیسرها ممکن است برای ساعات طولانی باردار بمانند و بعضاً بصورت ناگهانی قوس الکتریکی در این نقطه ایجاد شود.

نقاط نوک تیز در حد ۱ تا ۲ میلی متر استقامت الکتریکی عایق سیستم را در برابر موج صاعقه به شدت کاهش داده و با تجزیه گاز SF₆ در طول زمان بتدریج اثرات مخربی برروی سطح عایقها باقی خواهند گذاشت.

ب-۱- ذرات چسبیده بر روی سطح عایقها از نظر شکست عایقی و انتشار سیگنال این ذرات رفتاری همانند نقاط نوک تیز روی الکترودها از خودشان می دهند.

ب-۲- شیارهای هادی روی سطح عایقها در هنگام تست، هرگونه FLASHOVER به دلیل حرارت زیادی که ایجاد می کند باعث ایجاد کربنیزاسیون و شیارهای هادی برروی سطح عایقها و مقره ها می گردد.

ب-۳- آلودگی سطح عایقها بخاطر ناخالصیهای گاز SF₆ عمده ترین ناخالصی در این حالت رطوبت گاز می باشد که ممکن است در هنگام تغییرات شدید درجه حرارت برروی سطح عایقها نشسته و استقامت الکتریکی را کاهش دهد.

ج - نقص درون ماده عایقی مقره های داخل گاز SF₆ عمده ترین مشکل در این قسمت وجود حفره درون ماده عایقی مقره ها می باشد. میدانهای تقویت شده در این حفره ها باعث تخلیه جزئی (PD) و تجمع بارهای فضایی می شود. میدانهای تشدید شده باعث تسریع در روند فرسودگی عایقها شده و در بدترین حالت منجر به شکست عایقی می شوند

۷- تست عایقی GIS در سایت

انجام تستهای روتین کارخانه ای برروی بخش های قابل حمل هرگز عیبها و اشکالاتی را که در هنگام نقل و انتقال به محل پست، نگهداری در انبار و نصب نهایی ایجاد می شوند مشخص نمی کند. با

ولتاژ AC که به ذرات آزاد معلق حساس بوده تنها ولتاژی است که با آن می‌توان تست PD را نیز انجام داد. سطح ولتاژ تست معمولاً بالاتر از سطح ولتاژ نامی سیستم و یا در سطح ولتاژ تست کارخانه‌ای می‌باشد. معمولاً این مقدار ۸۰ درصد مقدار ولتاژ تست کارخانه می‌باشد.

برای اندازه‌گیری PD ولتاژ AC بین ۱ تا ۱/۵ برابر ولتاژ نامی سیستم اعمال می‌شود. روش شناسایی PD را برای شناسایی تعداد زیادی از اشکالات می‌توان بکاربرد. اما شناسایی نقاط نوک‌تیز و خراشیدگیها به دلیل حساسیت پایین تکنیکهای متداول PD میسر نمی‌باشد.

- ولتاژ تست سوئیچینگ به وجود ذرات آزاد معلق حساس بوده اما حساسیت آن کمتر از تست AC می‌باشد.

- ولتاژ ضربه حساسترین وسیله برای شناسایی نقاط نوک‌تیز و سایر اشکالاتی است که منجر به تقویت میدان های الکتریکی می‌شوند (قطعات شل). این تست در مقایسه با تست AC از حساسیت کمتری نسبت به ذرات آزاد معلق برخوردار است.

وسیله شناسایی عیب در تمامی موارد فوق شکست ولتاژ می‌باشد. در صورت شکست، کل مراحل تست تکرار می‌شود تا سلامت سیستم مورد تأیید قرار گیرد. چنانچه نتیجه منفی باشد محفظه تحت تأثیر قرار گرفته می‌بایست شناسایی شده و پس از باز کردن نسبت به رفع مشکل اقدام شود. شکست در هنگام تست ضربه اضافه، ولتاژهای بسیار شدیدی ایجاد می‌کند که احتمال دارد اثرات جانبی آن بر روی عایقهای سالم تأثیر منفی بگذارد. این تست در اکثر مواقع انجام نمی‌شود.

انجام تست در سایت آن نقایصی که احتمالاً منجر به وقوع شکست عایقی در هنگام بهره‌برداری عادی خواهند شد می‌بایست تشخیص داده شوند. استرس‌های مکانیکی مربوط به عملکرد بریکر و دیسکانکتور و درولتاژ نامی سیستم و اضافه ولتاژهای بسیار سریع (VFTO) که توسط سوئیچینگ ایجاد می‌شوند به عنوان شرایط کار عادی در نظر گرفته می‌شوند. اشکالاتی که ممکن است بر استقامت عایقی سیستم تأثیر گذارند عبارتند از:

- آسیب به الکترودها (خراشیدگی)
- آسیب به اسپسرها
- ذرات آزاد معلق
- نصب اشتباه
- قطعات شل (اتصال بد)
- اجسام خارجی باقی مانده در GIS (واشر، ابزار)

باید تأکید کرد که انجام تست در سایت تکرار تایپ تست و یا جایگزینی برای روتین تست نمی‌باشد. بنابراین هدف تست در سایت تضمین سلامت سیستم بعد از حمل، انتقال، نصب، تعمیر و یا توسعه پیش از برق‌دار شدن می‌باشد. تعدادی از تجهیزات همچون کابل و ترانسفورمر ولتاژ برقگیرها و کلیه وسایل حفاظت در برابر اضافه ولتاژ لازم است پیش از انجام تست و به دلیل حساسیت آنها در برابر جریان زیاد و ولتاژ بالا از مدار جدا شوند.

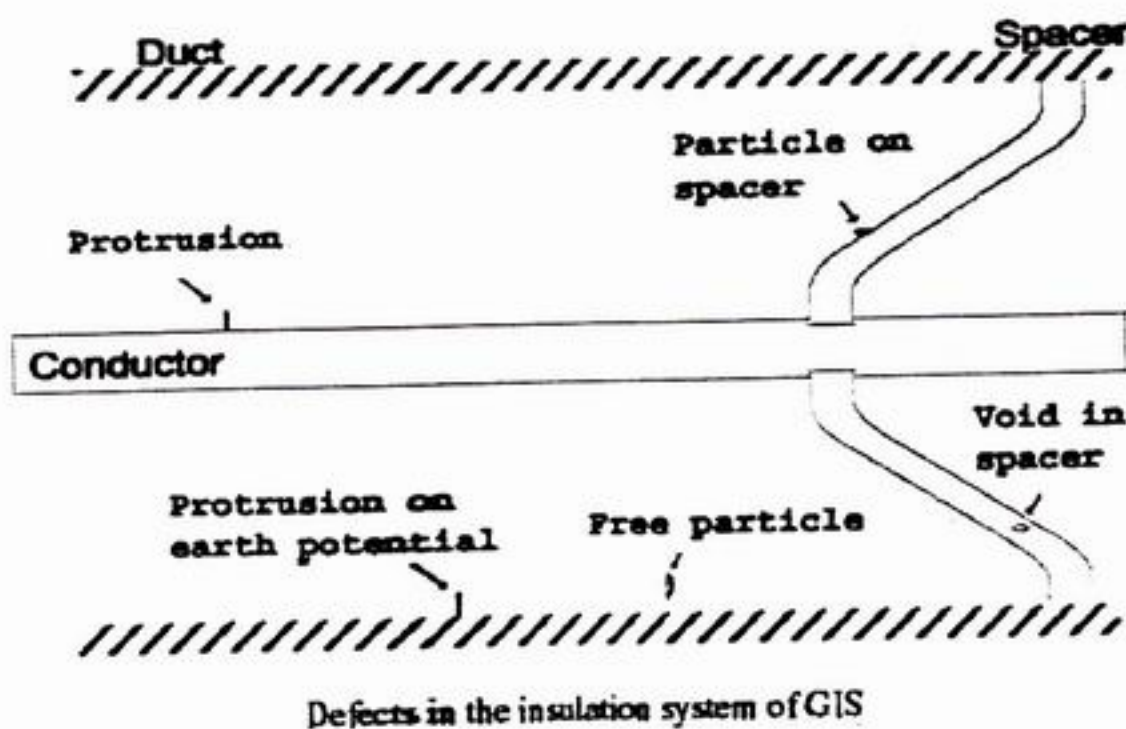
امروزه اصلی‌ترین وسیله تشخیص سلامت GIS در سایت تست استقامت عایقی، اندازه‌گیری تخلیه جزئی و روش آکوستیک می‌باشد. به طور کلی روشهای زیر را می‌توان بکار برد.

۸- سیستم مونیترینگ به منظور پیش‌بینی خرابی در GIS

هزینه‌های خرابی GIS در مقایسه با سونچگیر AIS معمولاً بالاتر است. نیاز به پرسنل ورزیده برای پیدا کردن محل خرابی، خالی کردن و پر کردن دوباره گاز محفظه‌ها، نیاز به انجام تست ولتاژ AC بعد از انجام تعمیر و احتمال بی‌برقی فیدرهای مجاور به منظور دستیابی به فضای لازم جهت تعمیرات از جمله دلایل افزایش هزینه‌ها می‌باشند. چنین هزینه‌هایی می‌بایست با کاهش هزینه عملیات نگهداری و کاهش خرابی در GIS جبران شود. کاهش در هزینه عملیات نگهداری با

بزرگترین مزیت روش آکوستیک این است که در این روش امکان تعیین محل عیب نیز وجود دارد و با توجه به دامنه سیگنالهای صوتی فاصله تقریبی سنسور تا محل عیب معین می‌شود.

اگرچه اکثر شکست‌های عایقی در بهره‌برداری عادی ناشی از ذرات آزاد می‌باشند اما همگی آنها خطرناک نیستند. چنانچه وجود ذرات آزاد در محفظه‌ها محرز شود ابتدا باید اندازه محل و میزان جابجایی آنها تشخیص داده شود و سپس تصمیم‌گیری شود که آیا باز کردن محفظه برای برطرف کردن چنین عیبی به صلاح می‌باشد یا خیر؟



Defects in the insulation system of GIS

اشکالات در سیستم عایقی GIS

انجام عملیات نگهداری بر حسب وضعیت دستگاه در هنگام ضرورت به جای انجام آن به صورت دوره‌ای و بر حسب زمان سپری شده، نوع دستگاه و پیشینه آن قابل دستیابی می‌باشد. بدین ترتیب از باز کردن محفظه‌ها فقط به منظور چک کردن وضعیت کنتاکت‌ها آنگونه که توسط سازندگان توصیه می‌شود جلوگیری خواهد شد. با

باید توجه داشت که تست در سایت نمی‌تواند سلامتی سیستم را به صورت صد در صد تضمین نماید. تجربیات گروه‌های درگیر، وسایل تست مورد استفاده، مسائل اقتصادی، روش نصب از دیگر مسائل مهمی هستند که می‌بایست در نظر گرفته شوند.

مونیتورینگ تعداد قطع و وصل بریکر و قدرت آنها به صورت پیوسته، وضعیت کنتاکتهای بریکر ارزیابی شده و انجام عملیات نگهداری به صورت واقعی تری برنامه ریزی خواهد شد. چک کردن دوره‌ای تجهیزات ضمن هزینه‌بر بودن هیچگونه تضمینی در مورد خراب نشدن تجهیز تا دوره بازرسی بعدی را نخواهد داد.

به کمک آنالیز آمار خرابی می‌توان دلایل اصلی خرابی و یا تجهیزاتی را که دارای بالاترین ریسک خرابی در یک سیستم می‌باشند یافت. در نتیجه می‌توان سیستم مونیتورینگ را بر روی یافتن اشکالاتی که در هنگام بهره‌برداری عادی رخ می‌دهند و در هنگام راه‌اندازی شناسایی شده‌اند متمرکز کرد. همچنین با تعیین میزان جدی بودن مشکل می‌توان از باز کردن بی‌مورد محفظه‌ها جلوگیری کرد.

برای تحقق یافتن چنین اهدافی سیستم مورد استفاده می‌بایست دارای مشخصات زیر باشد:

- برخورداری از سنسورهای مناسب برای تشخیص مشکل
- وجود الگوریتم تشخیص عیب براساس داده‌های ورودی

انتخاب پارامترهایی که می‌بایست کنترل شوند باید با دقت زیادی انجام پذیرد. مونیتورینگ می‌بایست در ارتباط کامل با احتمال وقوع خرابی و دلیل آنها باشد. قابلیت اطمینان خود سیستم مراقبت می‌بایست بالاتر از سوئیچگیر GIS باشد و حساسیت بالای آن نبایستی خودبه صورت منبع اشکال درآید.

سیستم مونیتورینگ به دو روش قابل اجرا می‌باشد:

۱- مونیتورینگ دوره‌ای: این نوع مونیتورینگ در طول عمر مفید تجهیز به صورت دوره‌ای (منظم یا نامنظم) به کار برده می‌شود. مونیتورینگ یا به صورت ساده مانند مراقبت فشار گاز SF6 و یا توسط تکنیکهای پیشرفته اندازه‌گیری PD انجام می‌شود. به عنوان مثال تست PD برای شناسایی محل تخلیه الکتریکی، ارزیابی روند کاهش کیفیت گاز SF6، و نوسانات مکانیکی مخرب استفاده می‌شود. بعد از برق‌دار شدن پست در فواصل زمانی مشخص مثلاً هر دو سال یکبار تست PD مجدداً انجام شده و نتایج حاصل با نتایج بدست آمده در هنگام تست و راه‌اندازی مقایسه شده و در صورت مشاهده هرگونه تغییری در سلامت عایقی سیستم اقدامات احتیاطی لازم برای جلوگیری از خرابی‌های جدی انجام می‌شود.

۲- مونیتورینگ دائمی: این تکنیکها در طول عمر مفید تجهیز و بدون نیاز به خارج کردن سیستم از مدار اعمال می‌شوند. داده‌های بدست آمده از سنسورها علاوه بر توانایی ارسال مستقیم علائم هشداردهنده، پس از پردازش توسط سیستم‌های خبره (EXPERT SYSTEM) و در هماهنگی با سیستم‌های کنترل و حفاظت امکانات بسیار گسترده‌تری در اختیار بهره‌بردار قرار می‌دهند. به صورت مثال با آنالیز نوسانات فشار گاز در داخل محفظه‌ها وجود قوس الکتریکی در آنها شناسایی می‌شود. اگرچه احتمال بوجود آمدن قوس بسیار ضعیف می‌باشد اما ثبت این اغتشاشات به منظور شناسایی محل دقیق وقوع قوس و واکنش سریع در برابر آن لازم می‌باشد. به عنوان مثال چنانچه قوس الکتریکی در محل بین CT و بوشینگ SF6 تشخیص داده شود می‌توان با جلوگیری از

عملکرد رله AUTO RECLOSE از ایجاد آسیبهای جدی بعدی جلوگیری کرد. و یا در مورد بریکر از مقایسه داده‌های بدست آمده از پردازش سیگنالهای سنسورها با مقادیر تعریف شده موجود در بانک اطلاعاتی سیستم روند کلی فرسودگی سیستم مکانیزم تعیین شده و اقدامات تأمینی لازم پیش از وقوع مشکلات جدی در سیستم بهره‌برداری انجام خواهد گرفت.

۹- نتیجه‌گیری

در این مقاله قابلیت اطمینان سیستم از دو جنبه عوامل تحت کنترل و عوامل غیرقابل کنترل مورد بررسی قرار گرفت. عوامل تحت کنترل شامل عوامل مؤثر در قابلیت اطمینان سیستم در مراحل طراحی، ساخت و تست کارخانه‌ای میباشد. استفاده از مواد با کیفیت عالی در ساخت GIS، کیفیت کنترل در تمام مراحل تولید، استاندارد کردن قطعات و استفاده از قطعات کمتر و یا ترکیبی از جمله اقدامات مؤثر در افزایش قابلیت اطمینان سیستم می‌باشند. عوامل خارج از کنترل شامل عوامل احتمالی مؤثر در ایجاد خرابی در GIS در هنگام حمل و نصب و راه‌اندازی و بهره‌برداری می‌باشد. حمل قطعات بزرگتری از سوئیچگیر GIS به سایت، افزایش و کیفیت تستهای انجام شده در سایت و آموزش دقیق پرسنل درگیر در عملیات نصب و راه‌اندازی و بکارگیری و اشتراک تجربیات گروههای بهره‌بردار و تولیدکننده مکمل تلاش سازنده در تولید یک سیستم بدون نقص و با عمر طولانی خواهد بود.

تجهیز GIS به سنسورهای مدرن و تلفیق آن با سیستمهای کنترل و حفاظت موجب کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و چرخه عمر و افزایش

قابلیت اطمینان سیستم شده و عمده پیشرفت تکنولوژی GIS در آینده نزدیک در این قسمت خواهد بود.

آمار نشاندهنده روند رو به رشد استفاده از GIS، رضایت اکثر استفاده‌کنندگان، افزایش طول عمر قابل پیش‌بینی و کاهش هزینه صرف شده روی خرید وسایل یدکی در نظرسنجیهای جدید نسبت به دوره‌های پیشین بوده که خود حاکی از افزایش قابلیت اطمینان در طرحهای جدید GIS می‌باشد. با توجه به تقاضای روزافزون برای انرژی الکتریکی در مناطق شهری و اثرات زیست محیطی پستهای معمولی در این نقاط و هزینه‌های بالای تعمیر و نگهداری پستهای معمولی در مناطق ساحلی، بارانی و صنعتی و با در نظرگیری تمام مزایا و معایب پستهای GIS همچنان به عنوان انتخاب برتر در این مناطق باقی خواهند ماند.

۱۰- مراجع

1. CIGRE WG 23.20 "Report On The Second International Survey On The High Voltage GAS Insulated Substations (GIS) Service Experience", CIGRE 1998 Session, Report 23-102.
2. CIGRE WG 23.10: "A Twenty Five Year Review Of Experience With SF6 GAS Insulated Substations (GIS)", CIGRE 1992 Session, Report 23-101.
3. G.Gallet, H. Larrue et al, CIGRE 1982, PAPER 23-06, "DESIGN AND CONSTRUCTION OF EHV GAS Insulated Substations With Regard To Their Flexibility and Ease of Maintainability".
4. CIGRE WG 23-10: "GIS In Service-Experience And Recommendations", CIGRE 1994 SESSION, REPORT 23-104.
5. CIGRE WG 33/23 12: "INSULATION CO -

آقای رضا فخر دارای لیسانس مهندسی برق (گرایش الکترونیک) از دانشگاه شیراز و فوق لیسانس برق (گرایش قدرت) از دانشگاه امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) بوده و ۳ سال در شرکت قدس نیرو سابقه کار دارند. فعالیت آقای فخر در زمینه طراحی پستهای فشارقوی از نوع متعارف GIS می باشد.

آقای محمدحسن زرگر شوشتری دارای لیسانس مهندسی برق با گرایش قدرت از دانشگاه امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) بوده و ۲۲ سال سابقه کار دارد که ۲۱ سال آن در شرکت قدس نیرو می باشد. زمینه فعالیت آقای زرگر شوشتری مشاوره و طراحی پستهای فشارقوی و علاقه مندی ایشان در مورد اثر آلودگی بر عایقهاست.

ORDINATION OF GIS: Questions On The Influence Of On- Site Tests And Dielectric Diagnostics", CIGRE 1992 Session, Report 23/33-03.

6. A.L.Janssen et al, "CIGRE WG 13.06 Studies On The Reliability Of Single Pressure SF6-GAS High Voltage Circuit Breakers", IEEE Transactions On Power Delivery Vol. 11, No.1, January 1996.
7. A.Eriksson et al, "Experience With GAS Insulated Substation In The USA", IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 10, No.1, January 1995.
8. Meppe Link, et al, "Very Fast Transients On GIS", IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 4, No.1, January 1989.
9. J.B.Kim et al "Developement Of Smart Diagnostic Algorithm For 800 kV GAS Insulated Switchgear", 2001 IEEE 7th International Conference On Solid Dielectric, June 25-29, 2001 Enid Hoven, The Netherlands.

یک روش جدید برای پخش بار AC-DC چند ترمیناله

خانم بیتا هاشمی

کارشناس ارشد برق - مدیریت نیروگاههای گازی

چکیده:

روشهای متداول ترکیب شبکه DC با برنامه‌های پخش بار نیاز به تغییرات ساختاری در برنامه‌های AC موجود دارند. در نتیجه در صورتیکه نیاز به اضافه نمودن بخش DC به یک برنامه پیشرفته AC باشد، اضافه نمودن معادلات DC نیاز به برنامه‌نویسی پیچیده و وقتگیری خواهد داشت. این مقاله یک روش جدید و کاربردی برای حل مسئله پخش بار AC-DC ارائه می‌نماید که در آن سیستم DC می‌تواند یک شبکه مولتی ترمینال باشد. روش جدید فقط به مدلسازی مبدلها می‌پردازد و از طریق یک تبدیل ساده از پخش بار AC برای حل سایر بخشهای شبکه DC استفاده می‌نماید. کلمات کلیدی: مبدلهای AC-DC، آنالیز پخش بار، انتقال HVDC و مدلسازی.

۱- مقدمه

در این روشها معادلات سیستمهای AC و DC ترکیب شده و سپس دستگاه معادلات حاصل حل می‌شود.

روش ترتیبی به حل تکراری معادلات AC و معادلات DC به صورت جدا از هم و یکی پس از دیگری می‌پردازد تا هر دو دستگاه معادله همگرا شوند.

در روش همزمان معادلات سیستم AC-DC به طور همزمان حل می‌شوند.

در این مقاله دو روش مذکور مرور می‌شود و سپس یک روش حل جدید پیشنهاد می‌گردد. روش پیشنهادی مزایای روشهای ترتیبی و همزمان را حفظ نموده و بعلاوه دارای برتریهایی به شرح زیر می‌باشد:

وظیفه اصلی سیستم انتقال HVDC انتقال توان بین کشورهای مختلف است. این نکته در توسعه شبکه قدرت ایران و برنامه‌ریزی آن برای آینده باید مدنظر قرار گیرد. این توسعه باعث ایجاد مدل‌های تحلیلی برای نمایش رفتار شبکه‌های AC و DC شده است. [۱]

نشریات گوناگونی به شماره‌های مراجع ۱ الی ۹ به روشهای مدلسازی سیستم‌های DC در آنالیز پخش بار پرداخته‌اند. روشهای گوناگون برای حل مسئله پخش بار عموماً به دو دسته زیر تقسیم می‌شود:

- روش ترتیبی
- روش همزمان

۲- مدلسازی سیستم

پخش بار AC-DC یک روش عددی برای تعیین پاسخ حالت مانای چنین شبکه‌هایی است. این تکنیک یک راه برای حل شبکه با میزان مشخص تولید، جدول میزان بار مصرفی و استراتژیهای کنترل مبدلها (به صورت یکسوساز یا اینورتر) ارائه می‌نماید. مشابه سایر اجزاء شبکه عملکرد مبدلها نیز در وضعیت ماندگار (steady state) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. یک مدل برای شرایط ماندگار مبدل در شکل ۱ نمایش داده شده است. متغیرهای این مدل به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$V_{term} \angle \varphi$: ولتاژ باس در سمت AC مبدل و زاویه فاز آن

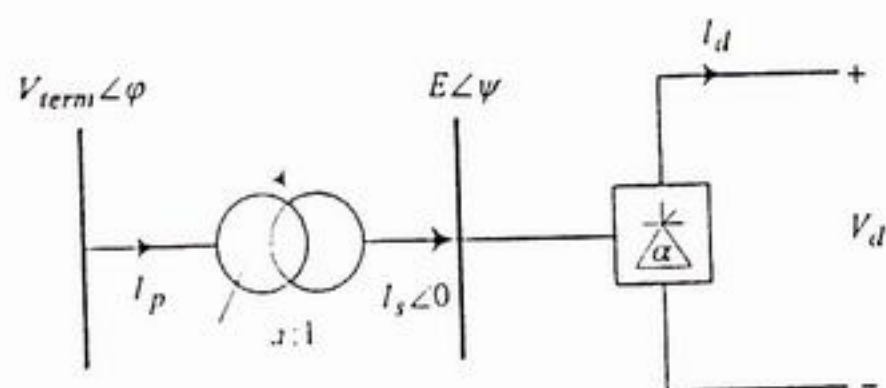
$E \angle \psi$: مؤلفه شکل موج ولتاژ در ثانویه ترانس مبدل

I_p, I_s : مؤلفه اصلی شکل موج جریان در اولیه و ثانویه ترانس مبدل

V_d, I_d : ولتاژ و جریان متوسط سمت DC مبدل

α/γ : زاویه آتش/ خاموشی مربوط به یکسوساز/ اینورتر

a : نسبت تپ ترانس مبدل



شکل ۱: مبدل AC-DC و ترانسفورماتور آن

- معادلات DC به آسانی به هر برنامه پخش بار AC اضافه می‌شود.
- در صورت نیاز به تغییرات در هر کدام از بخشهای AC و DC تنها همان بخش مورد اصلاح قرار می‌گیرد و نیازی به اعمال اصلاحات روی بخش دیگر نمی‌باشد.
- سرعت همگرایی معادلات AC و DC متفاوت می‌باشد بنابراین ترکیب آنها در روش ترتیبی باعث ایجاد نوسان در روند حل معادلات می‌شود. در روش جدید پخش بار AC-DC از طریق حل مستقیم دستگاه DC و حذف تکرارهای DC، این مسئله مرتفع گشته است.
- اضافه نمودن هر نوع کنترل کننده DC به برنامه به آسانی امکان‌پذیر است.

در روش جدید مبدلهای DC به صورت مجزا مدل می‌شوند و شبکه DC متصل به آنها به یک شبکه AC معادل نگاشته می‌شود که در این مقاله تحت عنوان، شبکه دوگان DC، آن را می‌شناسیم و این شبکه از طریق برنامه پخش بار AC قابل حل است.

در الگوریتم ارائه شده حل معادلات DC نیازی به تکرار نداشته و متغیرهای DC به صورت مستقیم از معادلات بدست می‌آیند. به این ترتیب زمان حل کاهش پیدا می‌کند.

از آنجائیکه هر مبدل به صورت مجزا و بدون نیاز به در نظر گرفتن اتصالات آن، مدل می‌شود تعداد مبدلها اثری روی معادلات ندارد.

در صورتیکه در روشهای موجود ابعاد ماتریس DC به تعداد مبدلها وابسته است.

$$X = [V_d I_d a \cos(\alpha' \gamma) \varphi] \quad \text{معادله (۱)}$$
$$R = \begin{bmatrix} V_d - \frac{3\sqrt{2}}{\pi} a.B.V_{\text{term}} \cos \alpha + \frac{3}{\pi} X_{\text{eq}}.I_d \\ V_d - K_1 a.B.V_{\text{term}} \cos \phi \\ F(V_d, I_d) \end{bmatrix}$$
$$V_d + \frac{3\sqrt{2}}{\pi} a.B.V_{term} \cos \gamma - \frac{3}{\pi} X_{eq} I_d = 0$$

در معادله ۲، $F(V_d, I_d)$ نمایانگر شبکه DC است و سایر روابط در این معادله مربوط

در معادله ۲، $F(V_d, I_d)$ نمایانگر شبکه DC است و سایر روابط در این معادله مربوط

هیچ تبدیلی متصل نیست، آخرین جمله‌های معادلات ۱۵ و ۱۶ صفر خواهد بود.

در روش همزمان معادله ۱۴ به صورت زیر ساده می‌شود. [۱]

$$\left[\frac{\Delta P}{V} \right] = 0 \quad \text{معادله (۱۷)}$$

$$\left[\frac{\Delta Q}{V} \right] = 0 \quad \text{معادله (۱۸)}$$

در الگوریتم پخش بار ترتیبی معادلات زیر باید حل شوند.

$$\left[\frac{\Delta P}{V} \right] = [B'] [\Delta \theta] \quad \text{معادله (۱۹)}$$

$$\left[\frac{\Delta Q}{V} \right] = [B''] [\Delta V] \quad \text{معادله (۲۰)}$$

$$[\Delta R] = [A] [\Delta X] \quad \text{معادله (۲۱)}$$

که B' و B'' همان ماتریس‌هایی هستند که در روش Fast-Decoupled پخش بار AC به کار می‌روند و A ماتریس ژاکوبین DC است. در این روش ابتدا معادلات ۱۹ و ۲۰ حل می‌شوند و بردارهای V و زاویه فاز θ محاسبه می‌شود و سپس معادله ۲۱ برای تعیین X حل می‌گردد. این روند تا زمانی که بردار خطا از مقدار تعیین شده‌ای کوچکتر شده و همگرایی حاصل شود، ادامه پیدا می‌کند.

۳- روش پیشنهادی

فلوچارت الگوریتم پیشنهادی در شکل ۲ نمایش داده شده است. اولین گام در این الگوریتم تبدیل شبکه DC به شبکه دوگان آن است. یک تبدیل ساده مقدار توان اکتیو باس بارهای شبکه DC را

به مبدل هستند. ایده اصلی این مقاله معرفی روشی است که حل شبکه DC و معادلات مبدل را از هم تفکیک نماید.

توان اکتیو و راکتیو مبدل از معادلات ۱۱ و ۱۲ بدست می‌آید.

$$P_{dc} = K \frac{3\sqrt{2}}{\pi} a.B.V_{term}.I_d \cdot \cos \varphi \quad \text{معادله (۱۱)}$$

$$Q_{dc} = K \frac{3\sqrt{2}}{\pi} a.B.V_{term}.I_d \cdot \sin \varphi \quad \text{معادله (۱۲)}$$

که K یک مقدار ثابت است و معمولاً برای پخش بار برابر ۰/۹۵۵ در نظر گرفته می‌شود. [۱]

بردار متغیرهای سیستم و بردار mismatch به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{bmatrix} V \\ \theta \\ X \end{bmatrix} \quad \text{معادله (۱۳)}$$

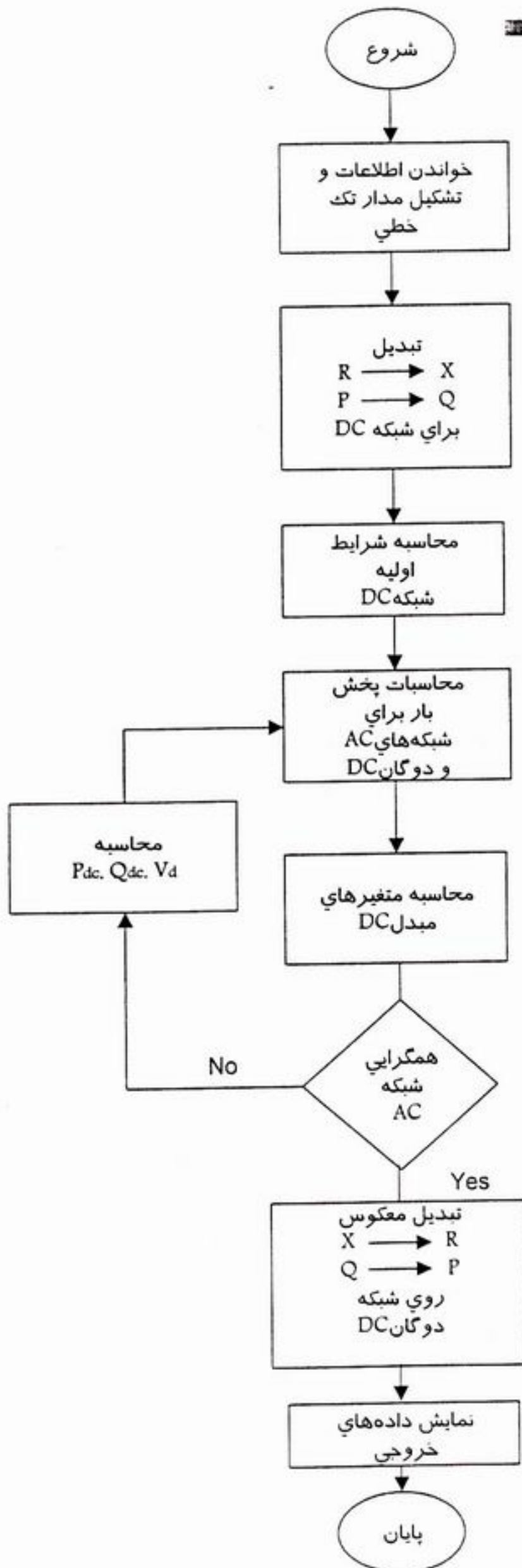
$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta R \end{bmatrix} \quad \text{معادله (۱۴)}$$

که در آن V و θ بردار ولتاژ و زاویه فاز باسهای AC می‌باشند و بردار X نیز در معادله ۱ تعریف شده است. برای باس بار m متصل به مبدل که در ضمن بارهای استاتیک AC را نیز تغذیه می‌نماید، ΔP_m و ΔQ_m به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\Delta P_m = P_m^{sp} - P_m^{AC} - P_m^{DC} \quad \text{معادله (۱۵)}$$

$$\Delta Q_m = Q_m^{sp} - Q_m^{AC} - Q_m^{DC} \quad \text{معادله (۱۶)}$$

که P_m^{sp}, Q_m^{sp} بارهای اکتیو مصرفی در باس m و P_m^{DC}, Q_m^{DC} بارهای اکتیو و راکتیو تبدیلیهای مربوط به این باس هستند. برای یک باس که به



شکل (۲) فلوچارت روش پخش بار AC-DC پیشنهادی

در این معادله، اندیس z شماره باس‌های DC است که متصل به باس DC i می‌باشند. R_{ij} مقاومت خط بین باسهای i, z است. در حالت کنترل توان اکتیو ثابت، باس DC مبدل باید بصورت باس PQ در نظر گرفته شود. مقدار P در چنین باسی صفر است و با در نظر گرفتن تبدیل به کار رفته داریم:

$$Q = P_{dc}^{sp} \quad \text{معادله (۲۲)}$$

وقتی شبکه دوگان DC حل شد، I_d هر مبدل DC تعیین می‌شود. عبارت دیگر، معادله $F(V_d, I_d) = 0$ در خلال گام ۲ حل شده است. در نتیجه اگر نگاهی به معادله (۲) انداخته شود، برای هر مبدل ۴ متغیر مجهول و ۴ معادله باقی می‌ماند.

گام سوم حل معادلات هریک از مبدل‌ها است. حل این معادلات نیازی به روشهای تکرار ندارد. واضح است که بدین ترتیب برای تعداد مبدلهای AC-DC هیچگونه محدودیتی ایجاد نمی‌شود و همه متغیرهای مبدل‌ها می‌توانند در این گام محاسبه شوند.

V_d, Q_{dc}, P_{dc} محاسبه شده باید در پخش بار AC شبکه‌های AC و دوگان DC در تکرار بعد مورد استفاده قرار گیرند.

گامهای ۲ و ۳ تا همگرایی معادلات ادامه پیدا می‌کند.

گام چهارم اعمال تبدیل معکوس به متغیرهای شبکه دوگان DC برای بدست آوردن متغیرهای شبکه نرمال DC است.

به "توان راکتیو" شبکه دوگان آن می‌نگارد. "مقاومت" شاخه‌ها و المانهای شبکه DC نیز به "راکتانس" شبکه دوگان DC نگاشته می‌شود. این تبدیل باعث می‌شود متغیرهای DC را بتوان در الگوریتم حل AC وارد نمود و بنابراین با برنامه موجود پخش بار AC بتوان هم شبکه‌های DC و هم شبکه‌های AC را حل کرد.

در گام دوم مبدل‌ها به طور موقت از شبکه جدا می‌شوند بطوریکه سیستم‌های DC و AC به صورت شبکه‌های جدا از هم تفکیک شوند. سپس با در نظر گرفتن Slack‌های جداگانه شبکه‌های AC و شبکه‌های دوگان DC حل می‌گردند. بنابراین برنامه پخش بار AC باید قادر به حل شبکه‌هایی با بیش از یک باس Slack باشد.

در سمت AC مبدل، باید مقادیر اولیه مناسبی برای P^{DC} و Q^{DC} در نظر گرفته شود و همچنین باید یک مقدار اولیه برای دامنه ولتاژ (V_d) در سمت DC مبدل تعیین گردد. با این مقادیر، حل جداگانه شبکه‌ها میسر خواهد شد.

لازم به ذکر است که در این روش ترمینالهای DC مبدل‌ها به صورت باس Slack فرض می‌شود. این فرض به جز برای کنترل جریان ثابت و کنترل توان ثابت معتبر است.

برای حالت کنترل جریان ثابت ($I_{di} = I_d^{sp}$)، اگر ولتاژ ترمینال DC مبدل (V_{di}) به صورت زیر تعریف شود میتوان این ترمینال را نیز به صورت Slack در نظر گرفت.

$$V_{di} = \frac{I_{di} + \sum_j \frac{V_{dj}}{R_{ij}}}{\sum_j \frac{1}{R_{ij}}} \quad \text{معادله (۲۲)}$$

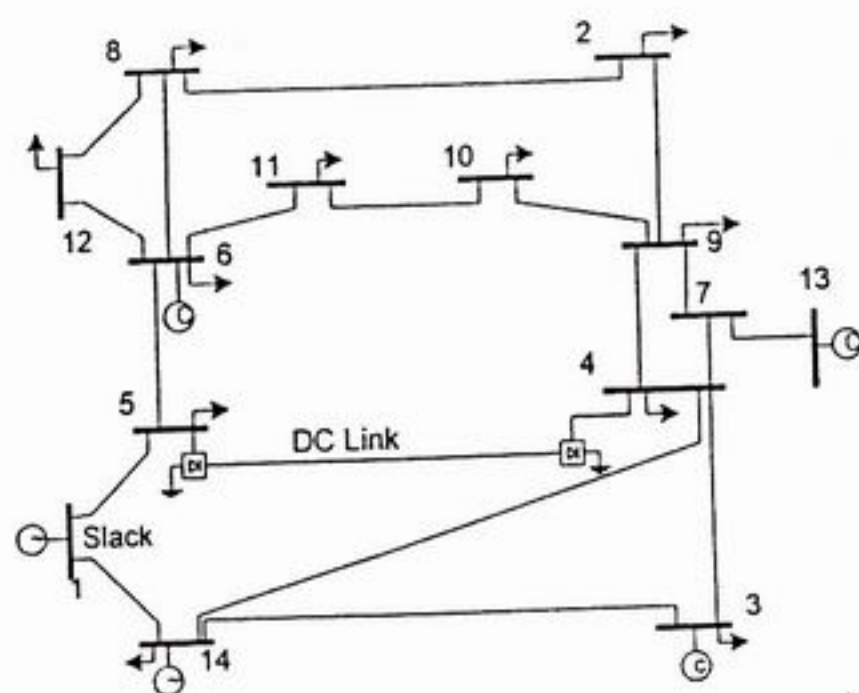
۴- ساختار برنامه

براساس روش پیشنهادی یک برنامه پخش بار AC-DC تهیه شده است. برنامه AC موجود که بخش DC روی آن پیاده شده است بر مبنای روش Fast-Decoupled بوده و قادر به آنالیز شبکه‌های بسیار بزرگ می‌باشد.

همچنین این برنامه توانایی حل شبکه‌هایی با

برای اطمینان از صحت روش پیشنهادی، شبکه‌های گوناگونی با استراتژیهای کنترل مختلف مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج با برنامه پخش بار AC-DC به روشهای متداول مقایسه گردیده است.

بعنوان یک نمونه سیستم AC-DC با ۱۴ باس بار که در شکل ۳ نمایش داده شده است مورد



شکل ۳: شبکه نمونه با ۱۴ باس بار

مطالعه قرار گرفته است.

اطلاعات لازم در جداول ۱ تا ۴ لیست شده است و نتایج پخش بار AC-DC در جداول ۵ تا ۷ آمده است.

Table 1. Bus Bar Input Data

Bus Bar	Load-MW	Load-MVAR
1	?	?
2	20.000	20.000
3	15.000	5.000
4	25.000	15.000
5	25.000	15.000
6	35.000	10.000
7	?	?
8	?	?
9	20.000	15.000
10	25.000	20.000
11	15.000	15.000
12	20.000	15.000
13	?	-20.000
14	?	15.000

بیش از یک slack را دارد. این برنامه همراه با گرافیک آن حدود ۵۰۰۰۰ خط در زبان برنامه‌نویسی فرترن می‌باشد، که همین مسئله باعث می‌شود که اضافه نمودن پخش بار DC به روشهای متداول نیاز به برنامه‌نویسی بسیار حجمی داشته باشد. روش پیشنهادی با افزودن تنها ۸۰۰ جمله به زبان فرترن به برنامه موجود، بخش DC را مدل می‌نماید. این بخش با هر برنامه AC دیگری نیز قابل تطبیق است و حاصل کار برنامه‌ای است که قادر به حل انواع شبکه‌های HVDC چند ترمیناله با هر اندازه و شامل تجهیزات DC نظیر باتریها، ژنراتورهای DC و ... می‌باشد (شکل ۲).

Table 6. AC System Bus Bar Results

Bus Bar	Type	Voltage (P.U.)	Voltage angle
1	SLK	1.000	0
2	PQ	.9546	-2.109
3	PQ	.9840	1.759
4	PQ	.9809	1.922
5	PQ	.9677	-1.399
6	PQ	.9534	-2.839
7	PQ	.9776	0.235
8	PQ	.9543	-2.725
9	PQ	.9650	-1.48
10	PQ	.9558	-2.185
11	PQ	.9526	-2.599
12	PQ	.9517	-2.875
13	PQ	.9877	0.235
14	PV	1.000	2.15

نتایج مشابهی با استفاده از سایر برنامه‌های پخش بار برای این شبکه بدست می‌آید و دقت روش پیشنهادی بدین ترتیب مورد تأیید قرار می‌گیرد.

۵- نتیجه‌گیری

الگوریتم جدیدی که در این مقاله ارائه شده است یک روش مؤثر برای حل مسائل پخش بار است. این روش به سادگی به هر برنامه پخش بار AC اضافه می‌شود. در صورت نیاز به اعمال تغییرات در هر یک از بخشهای AC و DC نیازی به تغییر کل برنامه نمی‌باشد. حل تکراری معادلات حالت نوسانی پیدا نمی‌کند. معادلات مبدل به صورت صریح حل می‌شوند و به روش حل تکراری نیاز ندارند.

حدی برای سایز شبکه DC یا اجزاء آن وجود ندارد. میزان برنامه‌نویسی در این روش حداقل است و تمام انواع کنترلرهای DC در این روش قابل شبیه‌سازی هستند.

Table 2. Generators Input Data

Gen. No	Bus Bar No.	V (P.U.)	P MW	Q MVAR
1	1	1.000	?	?
2	14	1.000	85.00	?

Table 3. Lines Input Data

Line No.	Start Bus	End Bus	R (P.U.)	X (P.U.)	Y (P.U.)
1	1	14	.0150	.0920	.1800
2	1	5	.0100	.0200	.0500
3	14	4	.0080	.0240	.0500
4	14	3	.0230	.1380	.2700
5	3	4	.0060	.0180	.0400
6	7	13	.0000	.0500	.0000
7	7	4	.0000	.0500	.0000
8	9	7	.0000	.0500	.0000
9	4	9	.0000	.1000	.0000
10	5	6	.0000	.1000	.0000
11	9	2	.0200	.0300	.0600
12	9	10	.0080	.0240	.0500
13	10	11	.0080	.0240	.0500
14	11	6	.0080	.0240	.0500
15	2	8	.0160	.0480	.1000
16	6	8	.0160	.0480	.1000
17	8	12	.0100	.0200	.0500
18	12	6	.0100	.0200	.0500

Table 4. DC System Input Data

DC line resistance 0.00334 p.u.	
Converter 1: B = 1 $X_{eq} = 0.100$ $a_{max} = 1.200$ $a_{min} = 0.800$ Tap step = 0.01 $\alpha_{min} = 0.087266$ rad Controllers: Constant Current = 0.9 p.u. Voltage limit	Converter 2: B = 1 $X_{eq} = 0.100$ $a_{max} = 1.200$ $a_{min} = 0.800$ Tap step = 0.01 $\gamma_{min} = 0.2617900$ rad Controllers: Constant voltage = 1.2 p.u. Constant extinction angle

Table 5. DC System Results

DC line resistance 0.90000 p.u.	
Converter 1: $V_d = 1.203$ p.u. $a = 1.02$ $\cos \alpha = 0.965926$ $\phi = 0.437298$ rad. $P_{dc} = 108.27$ MW $Q_{dc} = 49.88$ MVAR	Converter 2: $V_d = 1.200$ p.u. $a = 1.01$ $\cos \gamma = 0.929325$ $\phi = 0.431762$ rad. $P_{dc} = 108.00$ MW $Q_{dc} = 50.4$ MVAR

Table 7. Line Power Flow Results

Line No.	Sending End			Receiving End			Line losses	
	P(MW)	MVAR	S(MVA)	P(MW)	Q(MVAR)	S(MVA)	P(MW)	Q(MVAR)
1	-39.593	-1.780	39.633	-39.836	14.730	42.472	0.243	-16.510
2	159.694	80.649	178.904	156.453	79.007	175.270	3.242	1.642
3	38.558	64.435	75.090	38.080	67.908	77.856	0.477	-3.473
4	-6.566	-23.336	24.242	-6.601	3.025	7.261	0.035	-26.361
5	-8.435	18.336	20.183	-8.465	22.108	23.673	0.030	-3.77
6	0.000	-19.795	19.795	0.000	-20.000	20.000	0.000	0.205
7	-56.458	-5.616	56.736	-56.458	-7.3	56.928	0.000	1.684
8	56.458	25.411	61.913	56.458	23.405	61.117	0.000	2.006
9	-56.166	-13.639	57.798	-56.166	-17.227	58.748	0.000	3.587
10	23.190	14.121	27.151	23.190	13.334	26.750	0.000	0.787
11	38.879	4.926	39.190	38.542	9.947	39.805	0.337	-5.021
12	53.743	17.118	56.403	53.462	20.888	57.398	0.281	-3.770
13	28.462	8.888	28.476	28.390	5.225	28.867	0.072	-4.337
14	13.390	-9.775	16.578	13.370	-5.296	14.380	0.021	-4.479
15	-18.477	1.140	18.512	-18.543	10.053	21.093	0.066	-8.913
16	3.955	-4.060	5.668	3.952	5.030	6.397	0.003	-9.090
17	14.522	2.920	14.812	14.496	7.408	16.279	0.026	-4.489
18	-5.504	-7.592	9.377	-5.511	-3.068	6.307	0.006	-4.529

- 5- D.A.Braungel, L.A.Kraft and J.L. Whysong, "Inclusion of dc converter and transmission equations directly in a Newton power flow", No.1. Jan/Feb 1980. pp 246-252.
- 6- J.Arrillaga and P.Borger, "Integration of HVDC Links With Fast- Decoupled load Flow Solutions, Proc. IEE, Vol 124, No.5,1977,pp 463-468.
- 7- H.Fudeh,C.M. Ong,, "A Simple and Efficient AC-DC Load Flow Method for Multiterminal DC System", IEEE Trans PAS-100,1981,No.11 , pp4389-4396.
- 8- T.Smed, G.B. Sheble, L.L Grigsby "A New Approach to AC-DC Power Flow", IEEE Trans. On PS-6,1991,No.3, pp1238-1244.
- 9- U.Arifoglu "Load Flow Based on Newton's Method Using Norton Equivalent circuit for AC-DC Multiterminal Systems" ETEP, Vol.9, No.3, may / June 1999.

خانم بیتا هاشمی فوق لیسانس مهندسی برق از دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) بوده و دارای ۴ سال سابقه کار در شرکت قدس نیرو در زمینه نیروگاههای گازی و بخاری می باشد.

ایده‌ای که در این مقاله ارائه شده برای تجهیزات FACTS نیز قابل استفاده است، برای این منظور معادلات مبدل باید با معادلات FACTS جایگزین شود.

۶- مراجع

- 1- J.Arrillaga and B.Smith, "AC-DC Power System Analysis" Book, IEE Power and Energy Series 27. 1998.
- 2- J.Mahseredjian, S.Lefebvre, and D.Mukedkar, "A.Multiterminal HVDC Load Flow With Flexible Control Specifications", IEEE Trans. On Power Systems, Vol.1. No.2. Apr. 1986, pp 272-282.
- 3- J.Reeve, G.Fahmy, B. Stott, "Versatile Load Flow Method for Multiterminal HVDC Systems", IEEE Trans. PAS, Vol.96, No.3, Nov. 1977, pp 925-933.
- 4- H. Sato and J.Arrillaga, "Improved Load Flow Techniques for Integrated ac-dc Systems", Proc. IEE, Vol.116, No.4, 1969, pp.525-532

پیش‌بینی عیب در ترانسفورماتورها به روش گاز کروماتوگرافی

آقای سیدنورالدین آل محمد

سرپرست کارگاه طرح توسعه نیروگاه رامین - مدیریت مهندسی نیروگاههای بخار

۱- مقدمه

حرارت ناشی از بروز جرقه یا اتصال کوتاه در روغن ترانسفورماتور و بوجود آمدن گاز در ترانس پدیده‌ایست که از سالها قبل شناخته شده است. بکار بردن رله بوخهلتنس جهت حس گازهای جمع شده در ترانس و آلارم و تریپ ترانس توسط این رله تا حدود زیادی توانسته است ترانسفورماتورها را از آسیب رسیدن به آنها حفاظت نماید ولی این رله در صورتی عمل می‌نماید که میزان گاز در درون ترانس بحدی برسد که بتواند رله را تحریک نماید.

در اغلب مواقع در اثر گرم شدن ترانس تحت عوامل مختلف و فعل و انفعالاتی در عایق ترانس گاز بوجود می‌آید ولی حجم آنها به اندازه‌ای نیست که بتواند رله بوخهلتنس را فعال نماید. وجود این گازها و افزایش تدریجی آنها به مرور زمان منجر به بروز جرقه و اتصال کوتاه شده و باعث آسیب رسیدن به ترانس می‌گردد.

بطور کلی ترانسفورماتورها دارای دو نوع عایق می‌باشند:

۱- عایق مایع که روغن می‌باشد.

۲- عایق جامد (سلولز) که کاغذهای آغشته به روغن بوده که به دور سیم‌پیچ ترانس پیچیده شده‌اند.

۲- روغن ترانسفورماتور (عایق مایع)

الف: گرم شدن شدید (overheating) هنگامیکه روغن ترانس گرم می‌شود در درجه حرارت‌های تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد هیدروکربورهای زیر از آن متصاعد می‌گردند:

۱- اتیلن C_2H_4

۲- اتان C_2H_6

۳- متان CH_4

۴- دی اکسید کربن CO_2 در ۴۰۰ درجه سانتیگراد

۵- آب در ۲۰۰ درجه سانتیگراد

ب: تجزیه شیمیائی روغن هنگامیکه روغن به میزان زیاد تحت تأثیر جرقه‌های الکتریکی قرار گیرد علیرغم اینکه روغن حاوی هیدروکربورهای متفاوتی می‌باشد فقط

بعضی از آنها بشرح زیر در این مرحله تولید می شود:

- ۱- هیدروژن ۶۰-۸۰٪
- ۲- استیلن ۱۰-۲۵٪
- ۳- متان ۱/۵-۳/۵٪
- ۴- اتیلن ۱-۲/۹٪

۳- عایق جامد (سلولز)

الف: گرم شدن شدید (overheating)

در اثر افزایش دمای ترانسفورماتور و گرم شدن عایق جامد (سلولز) در دمای ۱۴۰ درجه سانتیگراد گازهای منواکسید کربن (CO) و دی اکسید کربن (CO₂) و آب بوجود می آید.

پ: تجزیه شیمیائی سلولز

هنگامیکه دما بحدی برسد که باعث تخریب سلولز گردد و این عمل معمولاً در دماهای بالای ۲۵۰ درجه سانتیگراد اتفاق می افتد مقادیر گازهای تولید شده منواکسید کربن و دی اکسید کربن زیاد می شوند. اما در این مرحله مقدار دی اکسید کربن تولید شده (CO₂) بسیار زیادتر از منواکسید کربن (CO) بوده و حتی تا چهار برابر آن نیز میرسد.

با توجه به توضیحات فوق تعداد گازهای محلول در روغن ترانس بسیار زیاد می باشند ولی در آزمایش کروماتوگرافی فقط ۹ عدد از گازها که مقدار آنها زیاد است مورد ارزیابی قرار می گیرند. این ۹ گاز عبارتند از:

- ۱- متان CH₄
- ۲- اتان C₂H₆
- ۳- اتیلن C₂H₄
- ۴- استیلن C₂H₂

- ۵- هیدروژن H₂
- ۶- نیتروژن N₂
- ۷- اکسیژن O₂
- ۸- منواکسید کربن CO
- ۹- دی اکسید کربن CO₂

گازهای CO و CO₂ عمدتاً از عایق جامد تولید می شوند.

از گازهای فوق گازهای زیر قابل احتراق بوده و به (combustible gases) معروف می باشند.

- منواکسید کربن CO
- متان CH₄
- اتیلن C₂H₄
- اتان C₂H₆
- استیلن C₂H₂
- هیدروژن H₂

بطور کلی درصد گازهای بوجود آمده در اثر افزایش دما (جرقه- اتصال کوتاه و ...) در روغن بشرح زیر می باشد:

دی اکسید کربن CO ₂	٪۱/۱۷
هیدروکربورهای سنگین	٪۴/۸۶
اکسیژن O ₂	٪۱/۳۶
منواکسید کربن CO	٪۱۹/۲۱
هیدروژن H ₂	٪۵۹/۱
نیتروژن N ₂	٪۱۰/۱۰
متان CH ₄	٪۴/۲۰
جمع	٪۱۰۰

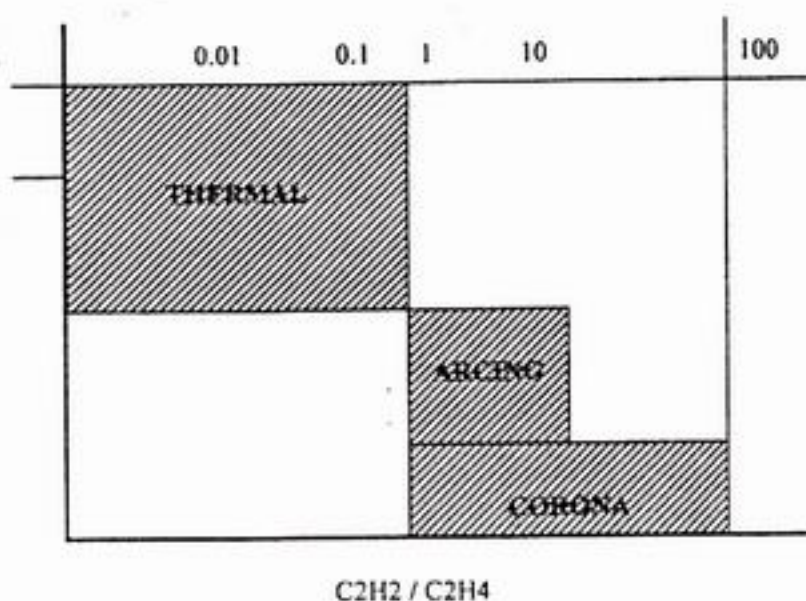
مقادیر فوق نشاندهنده وجود مقدار بیشتر هیدروژن و مقادیر کمتر هیدروکربورها می باشد. مقدار نیتروژن و اکسیژن حدود ۱۳٪ می باشد.

از تزریق روغن بداخل دستگاه مقادیر گازها و نسبت آنها تعیین شده و استخراج می‌گردد. زمان انجام تست حدوداً ۲۵ دقیقه می‌باشد. پس از استخراج نتایج آنالیز گازها بسیار مهم می‌باشد. امروزه چند روش بشرح زیر جهت تفسیر آزمایش کروماتوگرافی وجود دارد که همگی مبتنی بر استانداردهای IEC و ANSI و IEEE می‌باشند.

۶- آنالیز آزمایش گاز کروماتوگرافی

۱-۶- روش دورنبرگ (Dornenberg)

ابتدا مقادیر گازهای CH_4 و H_2 و C_2H_2 و C_2H_4 را از آزمایش کروماتوگرافی مشخص کرده و نسبتهای C_2H_2/C_2H_4 و CH_4/H_2 را بدست می‌آورند. سپس از نمودار زیر که دارای تقسیمات لگاریتمی است استفاده می‌کنند مقدار C_2H_2/C_2H_4 روی محور افقی و CH_4/H_2 روی محور عمودی مشخص می‌شوند. محل تلاقی آنها در هر ناحیه‌ای قرار گیرد نشاندهنده وضعیت داخلی ترانس می‌باشد. (محل نقاط در سطوح نشاندهنده نوع خطا می‌باشد).



۴- دلایل عمده بوجود آمدن گاز در روغن ترانسفورماتور

عوامل عمده تولید گاز در روغن ترانس‌ها حرارت زیاد، خطاهای الکتریکی و تنش‌های مکانیکی بشرح زیر می‌باشد:

- ۱- کرونا: تخلیه الکتریکی ناقص در نزدیکی الکترودهای یک میدان غیریکنواخت را کرونا گویند که مقدار آن در نزدیکی الکترودها بزرگ و در بقیه میدان بسیار ضعیف است. این پدیده معمولاً در اثر یونیزاسیون عایق بوجود می‌آید و اولین جرقه آن معمولاً در ولتاژ ۱۲۰۰۰ ولت زده می‌شود.
- ۲- جرقه: که در اثر اتصال بوجود می‌آید و زمان آن در حدود میکروثانیه می‌باشد.
- ۳- حرارت: در اثر گرم شدن روغن بوجود می‌آید که افزایش آن باعث گرم شدن شدید (Overheating) و یا بوجود آمدن نقطه داغ (Hot spot) در عایق می‌گردد.

۵- شناسایی گازهای محلول در روغن ترانس

جهت شناسایی گازهای محلول در روغن ترانس از روش بسیار متداول گاز کروماتوگرافی استفاده می‌شود. این روش به روش رنگ نگاری نیز معروف است.

در این روش گازهای محلول در روغن ترانس با گازهای نمونه (Sample) که از قبل به درون دستگاه تزریق می‌شود، مقایسه می‌گردد. نمونه روغن گرفته شده در بالونهای مخصوص توسط اپراتور دستگاه از ترانس گرفته شده بداخل دستگاه کروماتوگرافی تزریق می‌گردد عمل تزریق روغن به داخل دستگاه تا زمانی که کلیه حبابهای هوای موجود در روغن از بین برود ادامه دارد. پس

۲-۶- روش راجر

این روش که امروزه بیشتر متداول بوده و تقریباً بهترین روش آنالیز کروماتوگرافی می‌باشد براساس نسبت پنج‌گاز که از آزمایش گاز کروماتوگرافی روغن بدست می‌آیند مبتنی می‌باشد. این گازها عبارتند از: هیدروژن H_2 ، متان CH_4 ، اتان C_2H_6 ، اتیلن C_2H_4 و استیلن C_2H_2 . با استفاده از مقادیر گازهای فوق نسبتهای زیر را محاسبه نموده و با توجه به جدول زیر وضعیت ترانسفورماتور را مشخص می‌نمایند.

C_2H_2/C_2H_4 , C_2H_4/C_2H_6 , C_2H_6/CH_4 , CH_4/H_2

۳-۶- استفاده از گازهای قابل اشتعال

همانگونه که قبلاً توضیح داده شد از تعداد ۹ گاز بوجود آمده از روغن ترانس و سلولز آن تعداد شش عدد از آنها شدیداً قابل اشتعال می‌باشند که عبارتند از:

متان - هیدروژن - اتان - اتیلن - استیلن و منواکسیدکربن که به گازهای قابل اشتعال معروف می‌باشد. این روش دارای حساسیت زیاد بوده و کاربرد وسیع دارد.

مقادیر این گازها که بر حسب P.P.M می‌باشد از آزمایش گاز کروماتوگرافی استخراج می‌شوند و با

ردیف	وضعیت	C_2H_2/C_2H_4	C_2H_4/C_2H_6	C_2H_6/CH_4	CH_4/H_2
۱	نرمال	<0.5	<1	<1	0.1-1
۲	تخلیه الکتریکی - کرونا	<0.5	<1	<1	<0.1
۳	تخلیه الکتریکی + کرونا (تخلیه الکتریکی ادامه دارد)	0.5-3 ≥ 3	1 ≥ 3	<1	<0.1 0.1-1
۴	جرقه با قدرت زیاد	0.5-3	1-3	<1	0.1-1
۵	جرقه بدون قدرت زیاد	0.5-3	<1	<1	0.1-1
۶	گرمای زیاد تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد	<0.5	<1	<1	1-3
۷	گرمای زیاد بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد	<0.5	<1	≥ 1	1-3
۸	گرمای زیاد بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد	<0.5	<1	≥ 1	0.1-1
۹	گرمای زیاد در سیم پیچ	<0.5	1-3	>1	0.1-1
۱۰	وجود جریانهای چرخشی در سیم پیچ که نتیجه آن تولید گرمای زیاد است.	<0.5	1-3	<1	1-3
۱۱	وجود جریانهای چرخشی بین هسته و تانک که نتیجه آن تولید گرمای زیاد است.	<0.5	≥ 3	<1	1-3

ردیف	نوع گاز	مقدار غیرمجاز	مقدار مجاز در استاندارد UK	مقدار مجاز در استاندارد U.S.A	وضعیت
۱	H ₂	<120 P.P.M	<200	>1000 P.P.M	نشاندنده کرونا
۲	CH ₄	< 25 P.P.M	<50	>80 P.P.M	نشاندنده جرقه
۳	C ₂ H ₆	<10	<15	>25 P.P.M	Overheating
۴	C ₂ H ₄	<20 P.P.M	<60	>100 P.P.M	Overheating
۵	CO	<500 P.P.M	<1000	>1000 P.P.M	Overheating
۶	CO ₂	<10000 P.P.M	<11000	>15000 P.P.M	Overheating

یکدیگر جمع شده و بصورت زیر ارزیابی می گردند:

الف- اگر مقدار مجموع گازهای قابل اشتعال بین ۵۰۰-۰ P.P.M باشد، ترانسفورماتور نرمال است.

ب - چنانچه مجموع گازهای قابل اشتعال بین ۵۰۰-۱۰۰۰ P.P.M باشد نشاندنده تجزیه روغن بوده و پیشنهاد می گردد آنالیز روغن مرتباً و به فواصل زمانی معین تکرار شده و روند رشد گازها بررسی شود.

ج - چنانچه جمع مقدار گازهای قابل اشتعال بیشتر از ۱۰۰۰ P.P.M باشد نشاندنده آن است که تجزیه روغن صورت گرفته و روغن خاصیت خود را از دست داده که در این صورت باید مرتباً از روغن، نمونه گیری و آزمایش بعمل آید. اگر مقادیر تغییر کرده باشد و مقادیر گازهای قابل اشتعال افزایش یافته باشند ترانسفورماتور در وضعیت خطرناکی بوده و باید سریعاً متوقف شود. ضمناً آزمایش استقامت الکتریکی نیز انجام شود.

۴-۶- استفاده از مقادیر گازها برحسب P.P.M یکی دیگر از روشهای آنالیز کروماتوگرافی استفاده از مقادیر گازها برحسب P.P.M می باشد. در زیر جدول مقایسه مقادیر نشان داده شده است. دقت

این روش پائین می باشد و فقط گازهای قابل اشتعال با میزان استاندارد سنجیده می شوند.

۵-۶- روش آنالیز نتایج گاز کروماتوگرافی با استفاده از KEY GAS

در این روش پس از مشخص شدن گازهای محلول در روغن ترانس مجموع گازهای قابل اشتعال GC را بدست می آوریم. سپس مقادیر هر کدام از گازهای قابل اشتعال را بر مبنای ۱۰۰ محاسبه می کنیم (درصد)

گازی که بیشترین مقدار را داشته باشد Key Gas خواهد بود. سپس با استفاده از نمودارهای زیر وضعیت ترانس را مشخص می نمائیم.

اگر Key Gas گاز اتیلن باشد نشاندنده حرارت زیاد در روغن می باشد Overheating in oil

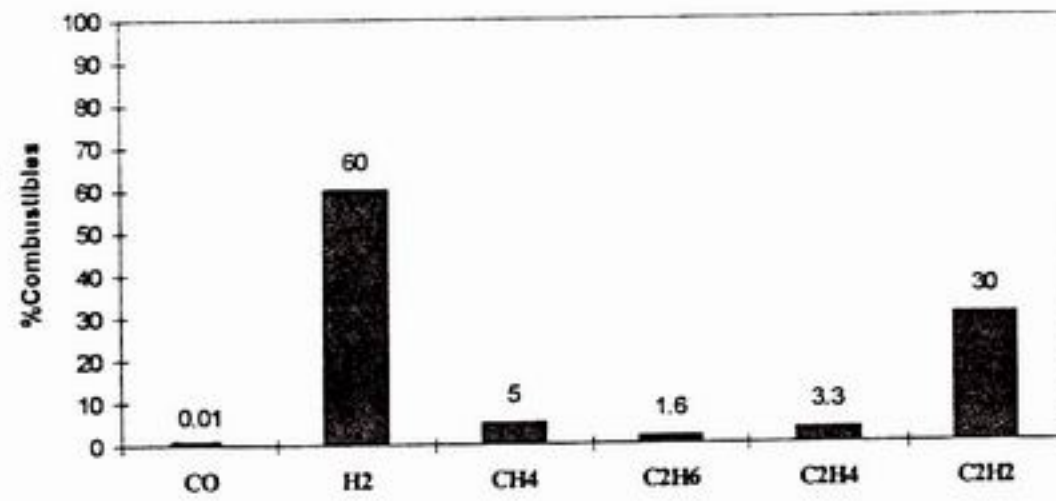
اگر Key Gas گاز استیلن باشد نشاندنده حرارت خیلی زیاد در روغن می باشد Extreme overheating in oil

اگر Key Gas گاز هیدروژن باشد نشاندنده کرونا و تخلیه انرژی Partial discharge می باشد.

اگر Key Gas گاز منواکسید کربن باشد نشاندنده پیری عایق جامد در اثر حرارت زیاد می باشد Thermal aging of the paper

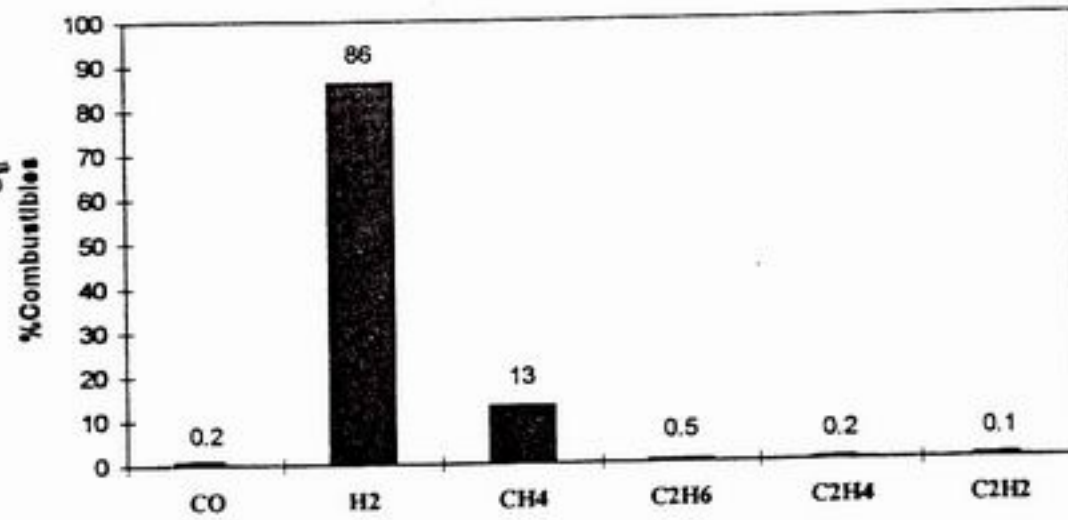
جرقه در روغن

گاز مرجع استیلن



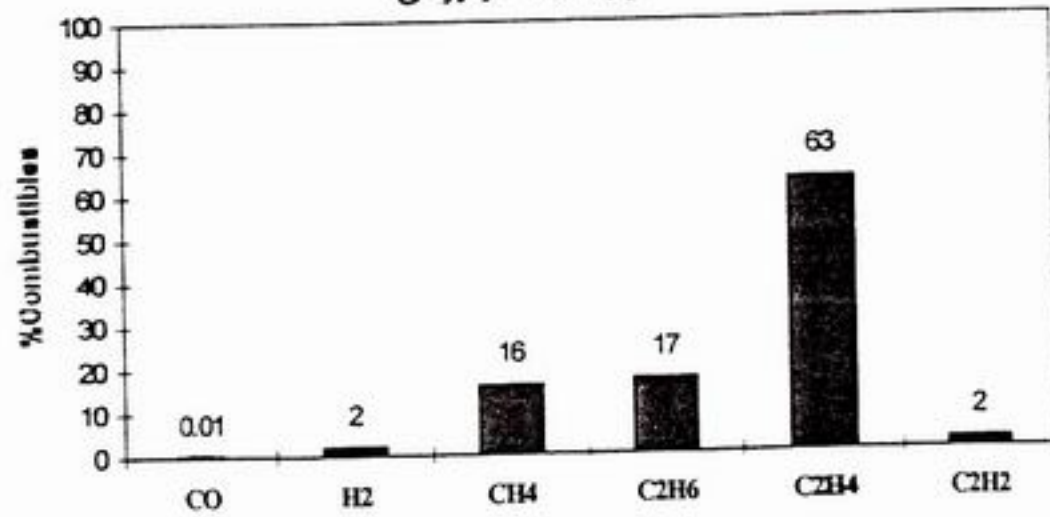
کرونا در روغن

گاز مرجع هیدروژن

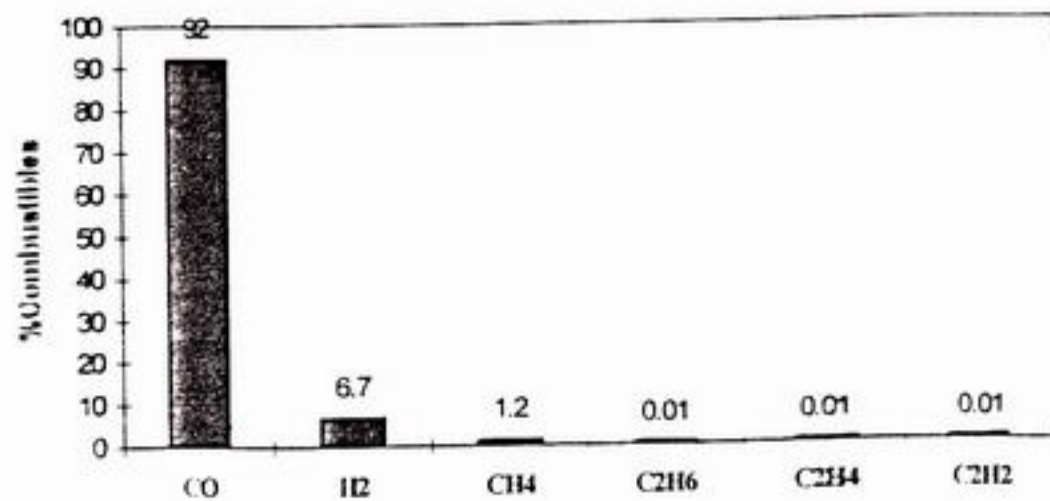


حرارت بالا در روغن

گاز مرجع اتیلن



حرارت بالا در عایق جامد

گاز مرجع
منواکسید کربن

۷- نتیجه گیری

بطور کلی حبابهای محتوی گاز باقیمانده در عایقهای جامد و مایع میتواند باعث تخلیه الکتریکی در عایق شده و موجب خرابی دستگاه الکتریکی مربوطه گردد.

در شرایط بهره‌برداری عادی از یک ترانسفورماتور نسبت هیدروژن به متان بزرگتر از یک می‌باشد. چنانچه نسبت متان تولید شده به هیدروژن بزرگتر از یک شود نشاندهنده آنست که نقاط گرمی بوجود آمده که در این نقاط درجه حرارت تا حد درجه حرارت تولید گاز متان افزایش یافته است. چون هرکدام از گازهای اتان، اتیلن و استیلن در درجه حرارت‌های متفاوت تولید می‌گردند. وجود هرکدام از این گازها وضعیت داخل دستگاه را مشخص می‌نماید بطوریکه:

- ۱- وجود اتان نشاندهنده گرم شدن زیاد روغن و عایق جامد تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد
- ۲- وجود اتیلن نشاندهنده گرم شدن زیاد روغن و عایق جامد بیشتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد
- ۳- وجود استیلن نشاندهنده گرم شدن زیاد روغن و عایق جامد بیشتر از ۸۰۰ درجه سانتیگراد

آنالیز گازهای محلول در روغن ترانس از جهت مشخص کردن وضعیت ترانس در زمان نمونه‌گیری مهم است ولی برای بررسی وضعیت سالم بودن ترانس دانستن مقادیر گازهای موجود در روغن کافی نمی‌باشد بلکه روند افزایش گازها و نسبت آنها در فواصل زمانی منظم دارای اهمیت بیشتری می‌باشد.

روشی که امروز بیشتر متداول بوده و تقریباً بهترین روش آنالیز کروماتوگرافی است براساس

نسبت پنج گاز که از آزمایش گازکروماتوگرافی روغن بدست می‌آیند مبتنی می‌باشد. این گازها عبارتند: از هیدروژن H_2 ، متان CH_4 ، اتان C_2H_6 ، اتیلن C_2H_4 و استیلن C_2H_2 . با استفاده از مقادیر گازهای فوق و مقایسه با مقادیر استاندارد (مجاز) وضعیت ترانسفورماتور مشخص می‌نمایند.

طریقه نمونه‌گیری از روغن ترانسفورماتورها در دقت تست و آنالیز آن بسیار مهم می‌باشد. ظرف نمونه‌گیری باید قبلاً تمیز شده و هواگیری گردد. ضمناً در هنگام نمونه‌گیری باید حبابهای هوای درون روغن از بین بروند. همچنین در ترانس‌هایی که از پمپ جهت گردش روغن آن استفاده می‌شود لازم است قبل از نمونه‌گیری پمپها بمدت ۱۵ دقیقه روشن گردند. حتی‌الامکان سعی گردد از هر ترانس دو نمونه یکی از قسمت پائین و دیگری از قسمت بالا گرفته شود.

۸- مراجع

- ۱- A Guide to Transformer Maintenance
مؤلف (TMI)
- ۲- نشریه علمی و فنی برق شماره ۲ مرکز تحقیقات نیرو

آقای سید نورالدین آل محمد دارای لیسانس مهندسی برق (الکترونیک) از دانشگاه علم و صنعت می‌باشد (سال ۱۳۶۲). ایشان ۲۰ سال سابقه کار دارد که ۵ سال آن در مهندسی مشاور قدس نیرو است. آقای آل محمد سرپرست کارگاه نیروگاه رامین بوده و علاقه‌مندی ایشان در مورد سیستم‌های تحریک ژنراتورهای نیروگاه‌ها و ترانسفورماتور است.

بررسی تاثیر پارامترهای جوشکاری بر تنش‌های پسماند

آقای رسول محرمی

کارشناس ارشد مکانیک پروژه‌های کنترل کیفیت - مدیریت مهندسی صنایع نیروگاهی

چکیده:

تنش‌های پسماند بواسطه تغییر شکل پلاستیک موضعی در ارتباط با توزیع غیریکنواخت دما در منطقه جوش بوجود می‌آیند. تنش‌های پسماند بر تغییر شکل‌های ناشی از جوش، شکست ترد، استحکام خستگی، کم‌انرژی و مقاومت به خوردگی اتصالات جوشی تاثیر می‌گذارند.

در این مقاله اثرات برخی پارامترهای جوشکاری بر تنش‌های پسماند تشریح و نتایج برخی فعالیت‌های تجربی انجام شده در این زمینه ارائه می‌گردد. در ارتباط با پارامترهای جوشکاری چند نمونه جوشکاری با شرایط گوناگون تهیه گردید و روی هریک با استفاده از روش کرنش‌سنجی سوراخ تنش پسماند اندازه‌گیری شد. مقادیر بدست آمده از اندازه‌گیری با استفاده از روش تصحیح خطای پلاستیک تصحیح شده است. با مقایسه نتایج صحیح اندازه‌گیری تنش پسماند روی نمونه‌های مربوطه تاثیر پارامترها بر تنش‌های پسماند بررسی گردید. از نتایج این تحقیق می‌توان در پیش‌بینی بزرگی و توزیع تنش پسماند احتمالی استفاده نموده و با بهینه‌کردن طراحی جوش راهکارهای مناسب در جهت کنترل اثرات آن بکار برد.

۱- مقدمه

عملیات، عامل ایجاد تنش پسماند می‌باشند. تنش‌های پسماند ناشی از جوشکاری عمدتاً از نوع تنش‌های حرارتی بوده که به واسطه حرارت دادن و انبساط و انقباض موضعی و تغییر شکل پلاستیک در جسم ایجاد می‌شود. وجود تغییرات ساختاری نیز می‌تواند یکی از دلایل ایجاد تنش‌های پسماند باشد. در یک سازه جوشکاری شده تنش‌های پسماند هم از نوع کششی و هم از نوع فشاری می‌باشند. تاثیرات تنش‌های پسماند ممکن

تنش‌های پسماند به آن دسته از تنش‌ها اطلاق می‌شود که پس از انجام عملیات خاصی در جسم باقی مانده و ناشی از بارگذاری خارجی نباشند. منابع تنش‌های پسماند بسیار متنوع بوده و میتوان آنها را در سه مجموعه کلی مکانیکی، حرارتی و متالورژیکی دسته‌بندی نمود. اکثر فرآیندهای ساخت و مونتاژ در قطعه تحت

بزرگی تنش پسماند در جوشکاری مطالعات متعددی انجام شده است. بر طبق این مطالعات، بزرگی تنشهای پسماند در قطعه‌ای که طول جوش بیشتری دارد، نسبت به نمونه‌های دیگر بالاتر می‌باشد. با افزایش بیشتر طول جوش سطح تنش‌های پسماند جوشی یکنواخت و در حد تنش تسلیم فلز خواهد بود. در این موارد طول جوش اثر کمی بر ماکزیمم تنش کششی در مرکز ناحیه دارد. در مقایسه بین اثر طولی نمونه که در بالا مطرح شد، اثر پهنای قطعه روی تنش پسماند نسبت به اثر طول جوش خیلی کم است. در حقیقت وقتی که پهنای قطعه از چند برابر پهنای جوش و ناحیه متأثر از جوش بزرگتر است اثر پهنای نمونه قابل صرف نظر است. شکل شماره ۱ تاثیر طول جوش بر بزرگی و توزیع تنشهای پسماند در جوش لب به لب را نشان میدهد. [۱]

۲-۲- خواص مکانیکی فلز پایه و فلز جوش بزرگی و توزیع تنش‌های پسماند در سازه‌های جوشکاری شده به ضریب انبساط حرارتی مواد و استحکام و تنش تسلیم در دماهای مختلف بستگی شدید دارد. در مواد با استحکام بالا به دلیل مقاومت در مقابل تغییر شکل پلاستیک، ناحیه‌ای که تحت تاثیر قرار می‌گیرد محدودتر ولی با سطح تنش بزرگتری خواهد بود. در مواد با استحکام پائین‌تر ناحیه‌ای که در آن تغییر شکل پلاستیک ایجاد می‌شود وسیعتر می‌باشد. در مورد موادی که ضریب انبساط حرارتی بالاتری دارند نیز تنشهای پسماند در ناحیه وسیعتر و در دمای پائین‌تری ایجاد می‌شود. [۲]

۲-۳- اثر مقید کردن

بدلیل اینکه کرنش و تنش قابل تبدیل به هم هستند بوجود آمدن تغییر شکل باعث استحاله

است بسته به بزرگی، جهت و توزیع تنش با در نظر گرفتن تنش اعمال شده از خارج، سودمند یا مضر باشد. دلایل مستند بسیاری وجود دارد که در حین کار تنش‌های اعمال شده به تنش‌های پسماند اضافه می‌شوند و قانون جمع آثار در مورد انواع تنش‌های پسماند نیز صدق می‌کند. به طور کلی میتوان گفت که وقتی تنش‌های پسماند با تنش اعمال شده بر سازه از طرف بارگذاری خارجی هم علامت باشند معمولاً مضر هستند.

علاوه بر مسایل مربوط به استحکام استاتیکی سازه جوشکاری شده، وجود تنش پسماند بر استحکام خستگی سازه موثر بوده و به صورت کلی باعث کاهش آن می‌شود. غیر از موارد فوق تنشهای پسماند بر خوردگی اتصال جوشی نیز تاثیرگذار می‌باشند. تنش پسماند دلیل بوجود آمدن تغییر شکلهای پس از جوش نیز می‌باشد. تغییر شکل ناشی از جوشکاری یکی از مشکلات عمده در فرایند ساخت و مونتاژ سازه‌های جوشکاری شده بوده و برای کنترل تغییر شکلهای ناشی از جوشکاری نیز باید بزرگی و توزیع تنش پسماند را مورد مطالعه قرار داد.

در این مقاله ابتدا به بررسی اثرات برخی از پارامترهای جوشکاری بر تنشهای پسماند پرداخته می‌شود. در قسمت دیگر فعالیتهای تجربی انجام شده در رابطه با ساخت نمونه‌ها و اندازه‌گیری تنشهای پسماند روی نمونه‌ها به همراه نتایج بدست آمده شرح داده می‌شود.

۲- تاثیر پارامترهای جوشکاری بر تنش پسماند

۲-۱- اثر ابعاد قطعه جوشکاری

از پارامترهای مهم تاثیرگذار در بزرگی و توزیع تنش پسماند ایجاد شده در قطعه کار، ابعاد هندسی آن است. در مورد اثر طول نمونه بر

مقداری از تنش خواهد شد. در جوش، بزرگی تنش پسماند به درجه مقید بودن و مقاومت در برابر تغییر شکل جوش وابسته است. سطح و توزیع تنش‌های پسماند جوشی به مهار اولیه (ناشی از نوع اتصال جوشی) و مهار ثانویه (ناشی از ابعاد قطعه و نحوه درگیری آن) بستگی دارد. برای تنش‌های پسماند طولی مهار اولیه قویاً تعیین کننده بوده و مهار ثانویه اثر کمی دارد. در مورد تنش‌های پسماند عرضی مهار اولیه در شکل‌گیری آنها کمتر موثر بوده و مهار ثانویه مهم می‌باشد. حداکثر سطح تنش‌های عرضی به واسطه مهار اولیه در حدود ۲۵ درصد میزان تنش تسلیم فلز می‌باشد. در جوشکاری و ساخت سازه‌های جوشی بزرگ به دلیل اتصال قطعات به هم و یا بدلیل وزن زیاد سازه از انقباض بوسیله شرایط خارجی ممانعت میشود و عملاً شرایط مقید شده ایجاد می‌شود. بنابراین میتوان انتظار تنش پسماند بالایی در این سازه‌ها داشت. [۱ و ۲]

۲-۴- اثر تغییرات فازی

ایجاد تغییرات فازی به دلیل در پی داشتن تغییرات حجمی خود از عوامل ایجاد تنش پسماند می‌باشد. بنابراین میتوان تغییرات فازی صورت گرفته در فلز جوش و منطقه فلز پایه را از عوامل موثر در بزرگی و توزیع تنش‌های پسماند به حساب آورد. در فولادهای نرم و کم آلیاژی در دماهای بالا، منطقه جوش به فاز آستینیت تبدیل شده که در حین سرد شدن، بستگی به عناصر آلیاژی موجود، تغییرات فازی از آستینیت به فازهای دیگر صورت می‌گیرد. هنگامی که آستینیت به فریت، پرلیت، بینیت، مارتنزیت و یا مخلوطی از آنها تبدیل می‌شود، افزایش حجم بوجود خواهد آمد. انبساط ناشی از استحاله فازها باعث جبران مقداری از انقباض حرارتی شده و کاهش سطح تنش‌های

پسماند را به دنبال خواهد داشت. برای فولادهای مختلف این پدیده به درصد کربن فولاد بستگی دارد. [۳]

۲-۵- اثر پروسه جوشکاری

نحوه ایجاد و توزیع تنش پسماند در جوش‌های ایجاد شده با انواع مختلف پروسه‌ها شبیه هم هستند. بزرگی تنش پسماند نیز به دمای قطعه در حین جوشکاری وابستگی نزدیکی دارد. پروسه‌های مختلف نیز بواسطه اختلاف در انرژی حرارتی ناشی از قوس الکتریکی بر این موضوع تاثیرگذار هستند. پدیده‌هایی چون نحوه ذوب، حرارت اعمال شده، نحوه محافظت از جوش و تبادل حرارتی با محیط به پروسه جوشکاری بستگی داشته و در کیفیت و توزیع دمایی در اطراف جوش موثر می‌باشد. بررسی نشان داده است که برای فولادهای استحکام بالا، انرژی جوش پائین منجر به ایجاد تنش‌های پسماند فشاری در منطقه جوش شده و انرژی جوش بالا تنش‌های پسماند کششی بزرگی را در منطقه جوش حاصل می‌نماید. [۳]

۲-۶- اثر حجم فلز جوش (شکل پخ)

فلز جوش در حین جوشکاری ذوب شده و دارای بالاترین دما می‌باشد. به همین دلیل در اثر انقباض در کل حجم آن تنش‌های پسماند جوشی ایجاد می‌گردد. اغلب تنش اطراف فلز جوش نیز برای ایجاد تعادل با تنش ایجاد شده در فلز جوش بوجود می‌آیند. بررسی نشان داده است شکل پخ و به تبع آن فلز جوش بر توزیع و بزرگی تنش پسماند عرضی تاثیر زیادی دارد. با کاهش حجم فلز جوش تنش‌های پسماند ایجاد شده کاهش پیدا خواهد کرد. [۴ و ۵]

۳- ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی

به منظور بررسی تجربی اثرات پارامترهای موثر در ایجاد تنش پسماند تصمیم گرفته شد نمونه‌های جوشی طراحی و ساخته شود. در طراحی و تولید این نمونه‌ها طوری عمل شد که با حداقل تعداد نمونه‌ها بتوان تعداد بیشتری از پارامترهای موثر بر توزیع تنش پسماند رد جوش را پوشش داد. بعد از مطالعه کافی، پنج نمونه برای این بررسی طراحی و ساخته شد. در ساخت این نمونه‌ها از مواد مختلف، روش جوشکاری گوناگون و نیز شکل پخ‌های متفاوت استفاده گردید. بعد از ساخت و آماده‌سای نمونه‌ها بر روی هر کدام از این نمونه‌ها تست اندازه‌گیری تنش پسماند با روش کرنش‌سنجی سوراخ انجام گردیده و نتایج با هم مقایسه شد.

در این تحقیق برای ساخت نمونه‌های جوشی سه نوع فولاد پرمصرف در ساخت مخزن و سازه‌های جوشی در نظر گرفته شدند. این فولادها عبارتند از فولاد کم کربن استحکام معمولی ST37، فولاد استحکام بالای ST52 و نیز فولاد ضدزنگ S321. از نمونه‌های ساخته شده سه نمونه از جنس فولاد استحکام بالای ST52، یک نمونه از فولاد کم کربن ST37 و یک نمونه از جنس فولاد ضدزنگ S321 می‌باشند.

با در نظر گرفتن اینکه سازه‌های واقعی دارای ابعاد نسبتاً بزرگی می‌باشند در اینجا نیز تلاش شد به منظور داشتن حداقل مصرف مواد اولیه، با حداقل ابعاد ممکن بتوان شرایط واقعی را شبیه‌سازی نمود. در این پژوهش طول نمونه‌های جوشی ۵۰۰ میلیمتر در نظر گرفته شدند. دلیل انتخاب طول جوش بالا رسیدن به حالت یکنواخت جهت

مقایسه تنش پسماند بوجود آمده در نمونه‌ها با هم و نیز شبیه‌سازی بیشتر به حالت واقعی ساخت می‌باشد. شکل ۷ نمونه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. در ساخت سازه‌های جوشی بویژه در صنعت ساخت تجهیزات نیروگاهی و مخازن تحت فشار اغلب از جوشکاری صفحات فولادی ضخیم در حالت لب به لب و همچنین از اتصال فلنج به استوانه استفاده می‌شود. در طراحی شکل نمونه‌ها نیز تصمیم بر آن شد که از همین اشکال استفاده شود. برای بررسی تاثیر شکل پخ و حجم فلز جوش، نمونه‌ها با چند شکل مختلف پخ زنی شد. این پخ‌ها به شکل X و V می‌باشند. انتخاب ابعاد پخ، زاویه مربوطه، ریشه جوش و فاصله بین صفحات طبق توصیه‌های استاندارد AWS D.1.1 (جوشکاری سازه‌های فولادی) انجام شد. برای داشتن شرایطی مشابه به هم در نمونه‌ها و جلوگیری از تداخل اثرات شرایط تمام نمونه‌ها قبل از جوشکاری از لبه‌های نمونه بویژه در قسمت عرضی نمونه به یک میز فولادی محکم وصلب جوش می‌شود. در این حالت کل تنش حرارتی ایجاد شده به تنش پسماند تبدیل شده و تنش پسماند بالایی خواهیم داشت. برای مقایسه اثر پروسه جوش، در جوشکاری قطعات از روشهای مختلفی استفاده شد. در جدول ۱ مشخصات نمونه‌های تهیه شده آورده شده است.

۴- اندازه‌گیری تنش پسماند در نمونه‌های

ساخته شده

بعد از ساخت و آماده‌سازی نمونه‌ها بر روی هر کدام از این نمونه‌ها تست اندازه‌گیری تنش پسماند با روش کرنش‌سنجی سوراخ انجام گردید. در جریان اندازه‌گیری تنش پسماند در این فعالیت پژوهشی، روی هر نمونه ساخته شده دو

اندازه‌گیری انجام گردید. موقعیت اندازه‌گیری‌ها با در نظر گرفتن مطالب گفته شده دقیقاً روی خط جوش و به فاصله ۴۰ میلیمتر از مرکز خط جوش انتخاب شد. تقارن موجود برای نقاط مورد تست به جهت اطمینان از صحت نتایج می‌باشد. شکل ۳ موقعیت اندازه‌گیری‌ها را روی نمونه‌ها نشان می‌دهد.

روش مورد استفاده برای اندازه‌گیری تنش پسماند روش کرنش‌سنجی سوراخ (Hole Drilling Strain Gauge Method) می‌باشد. این روش مرسوم‌ترین روش اندازه‌گیری تنش پسماند بوده و در استاندارد شماره ASTM E837 [۴] شرح داده شده است.

در این تحقیق رست (کرنش سنج) بکار رفته از نوع سه‌المانه مدل CEA-06-062UL-120 از شرکت M-M می‌باشد. برای ایجاد سوراخ نیز از تجهیزات فرز بادی دور بالای مدل RS-200 و برای نمایش کرنشها از تجهیزات نمایشگر کرنش مدل P-3500 و SB-10 که همگی از شرکت M-M می‌باشند، استفاده شده که در شکل ۴ نشان داده شده است. آماده‌سازی طبق توصیه‌های شرکت سازنده تجهیزات اندازه‌گیری تنش پسماند انجام گردید. تعداد نمونه‌های مورد تست همانطور که گفته شد پنج عدد بودند بنابراین تعداد ۱ مورد تست اندازه‌گیری تنش پسماند روی نمونه‌های جوشی انجام گردیده است. یک نمونه از نتایج اندازه‌گیری در شکل ۵ آمده است.

با دقت در نتایج اندازه‌گیری تنش پسماند روی نمونه‌های جوشی ساخته شده، مشاهده می‌شود در اکثر نمونه‌ها نتیجه اندازه‌گیری تنش پسماند اصلی ماکزیمم از تنش تسلیم ماده مورد تست بالاتر است. میتوان گفت که نتایج بدست آمده دارای خطا می‌باشد. دلیل ایجاد خطا اثر تمرکز

تنش ناشی از سوراخ بوده که باعث ایجاد رفتار غیرخطی مواد در اطراف سوراخ می‌شود و رفتار غیرخطی با فرضیات اولیه روش مغایرت دارد. [۵۶]

خطای پلاستیک با استفاده از آنالیز المان محدود مورد بررسی قرار گرفته و برای حالت‌های مختلف میزان خطا مشخص شده است. در شکل ۶ یک نمونه از مدل مورد استفاده در آنالیز خطای پلاستیک و در شکل ۷ یک نمونه از نتایج بدست‌آمده نشان داده شده است. نتایج اندازه‌گیری با استفاده از نتایج آنالیز المان محدود اصلاح شده و مقادیر تصحیح شده به همراه نتایج اندازه‌گیری شده در جدول ۲ موجود می‌باشد.

۵- آنالیز نتایج

با مراجعه به جدول ۲ بزرگی تنش‌های پسماند اندازه‌گیری شده مشاهده می‌شود. از مقایسه این نتایج با هم می‌توان تاثیر برخی از پارامترها را بدست آورد. بالا بودن بزرگی اغلب تنش‌های بدست آمده بیانگر تاثیر طراحی ابعاد بویژه تاثیر طول نمونه جوشی می‌باشد. بطوری که در نمونه‌های مشابه با طول بالاتر تنش پسماند به حالت یکنواخت و نزدیک تنش تسلیم خواهد رسید. برخی نتایج عبارتند از:

- مقایسه نتایج تنش پسماند اندازه‌گیری شده در نمونه‌های P1 و P2 جهت بررسی تاثیر شکل پخ (حجم فلز جوش):

در این دو نمونه تمام شرایط جوشکاری بجز شکل پخ مشابه هم می‌باشد. بدلیل کمتر بودن و نیز متقارن بودن توزیع فلز جوش در نمونه شماره ۲، بزرگی تنش پسماند ماکزیمم در حدود ۲۰٪ کمتر از مورد مشابه در نمونه ۱ می‌باشد. در مورد تنش

نمونه ۵ که با روش جوش گاز تهیه شده است، بدلیل بالابودن انرژی ورودی نسبت به نمونه زیر پودری تنش پسماند بزرگتری بوجود آمده است. در نمونه ۵ بزرگی تنش پسماند ماکزیمم در حدود ۱۵٪ و بزرگی تنش پسماند مینیمم در حدود ۹۰٪ بالاتر از نمونه ۳ می باشد.

مطالعات نشان میدهد که در فولادهای کربنی ماکزیمم تنش پسماند در خارج از جوش (جائیکه تغییرات فازی صورت نگرفته) ایجاد می شود و در منطقه جوش بواسطه بروز تغییر فازی و تغییرات حجمی مربوطه تنش های پسماند ملایمتری بوجود خواهد آمد. همچنین میتوان پیش بینی کرد که در جوشکاری فولاد زنگ نزن آستنیتی به دلیل نبودن استحاله آستنیتی تنش پسماند با بزرگی بالا بوجود بیاید.

۶- نتیجه گیری

با در نظر گرفتن موارد بررسی شده و در نظر گرفتن آن در طراحی جوش میتوان پروسه ساخت را بهینه نموده و از تغییرات ناخواسته بعدی که متضمن صرف هزینه و زمان جهت اطلاع می باشد، جلوگیری نمود [۶].

۷- مراجع

- 1- Masubuchi, K., (1980), Analysis of Welded structures, Pergamon Press, p88-111.
- 2- Modern welding technology, (1995), Englewood Cliffs, Prentce Hall Pub.
- 3- Hauk, V., Hougardy, H., Macherauch, E., (1991), Residual stresses measurement, calculation, evaluation, DGM informations gesellshaft, Germany, p 121-135.
- 4- ASTM E837, (1995), Standard test method for determining residual stress

پسماند مینیمم نیز این مقدار بسیار کمتر شده است.

• مقایسه نتایج تنش پسماند اندازه گیری شده در نمونه های P5 و P4 جهت بررسی تاثیر تغییرات فازی در ناحیه جوش:

در این مورد نیز تمام شرایط جوشکاری مشابه بوده ولی جنس فلز پایه و الکتروود مشابه نمی باشد. فلز پایه و الکتروود نمونه ۴ از جنس فولاد زنگ نزن آستنیتی می باشد در حالی که این موارد در نمونه ۵ از جنس فولاد کربنی تهیه شده است. در حین جوشکاری و پس از جوش نمونه ۴ برخلاف نمونه ۵ تغییرات فازی ناشی از استحاله فاز آستنیت ایجاد نمی گردد. در نمونه ۵ بدلیل تغییرات حجمی بوجود آمده استحاله فازی بزرگی تنش پسماند حرارتی جوش ماکزیمم مقداری در حدود ۲۰٪ و بزرگی تنش پسماند حرارتی جوش مینیمم در حدود ۱۰٪ کاهش یافته است.

• مقایسه نتایج تنش پسماند اندازه گیری شده در نمونه های P5 و P3 جهت بررسی تاثیر پروسه جوشکاری (انرژی جوش)

• با توجه به نکات بالا در جوشکاری قطعات همسان بودن خواص مکانیکی فلز جوش و فلز پایه تاثیرگذار خواهد شد. اگر استحکام الکتروود مورد استفاده از استحکام فلز پایه خیلی بالاتر باشد تنش پسماند بزرگتری ایجاد شده و باعث مشکلاتی نظیر تغییر شکل پس از جوش بیشتر خواهیم شد. برای چنین جوشهایی استفاده از الکتروود مصرفی با تنش تسلیم خیلی بالا توصیه نمی شود. بلکه استفاده از انرژی جوش حتی الامکان پائین با الکتروود متناسب با تنش تسلیم فلز پایه توصیه می شود. در مقایسه بین این دو نمونه به دلیل نزدیک بودن استحکام جوش، تنها تفاوت روش جوشکاری می باشد.

by the drilling strain gage method, Vol. 3.,no.1.

- 5- Lin, Y.C. and Chou, C.P. (1995), Error induced by local yielding around hole in hole drilling method for measurement residual stress of materials, Journal of Material Science and Technology, Vol.11,P600-605.

۶- محرمی، ر.، (۱۳۸۰)، بررسی اندازه‌گیری تنش

پسماند جوشی نزدیک تنش تسلیم جوش با روش کرنش سنجی سوراخ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

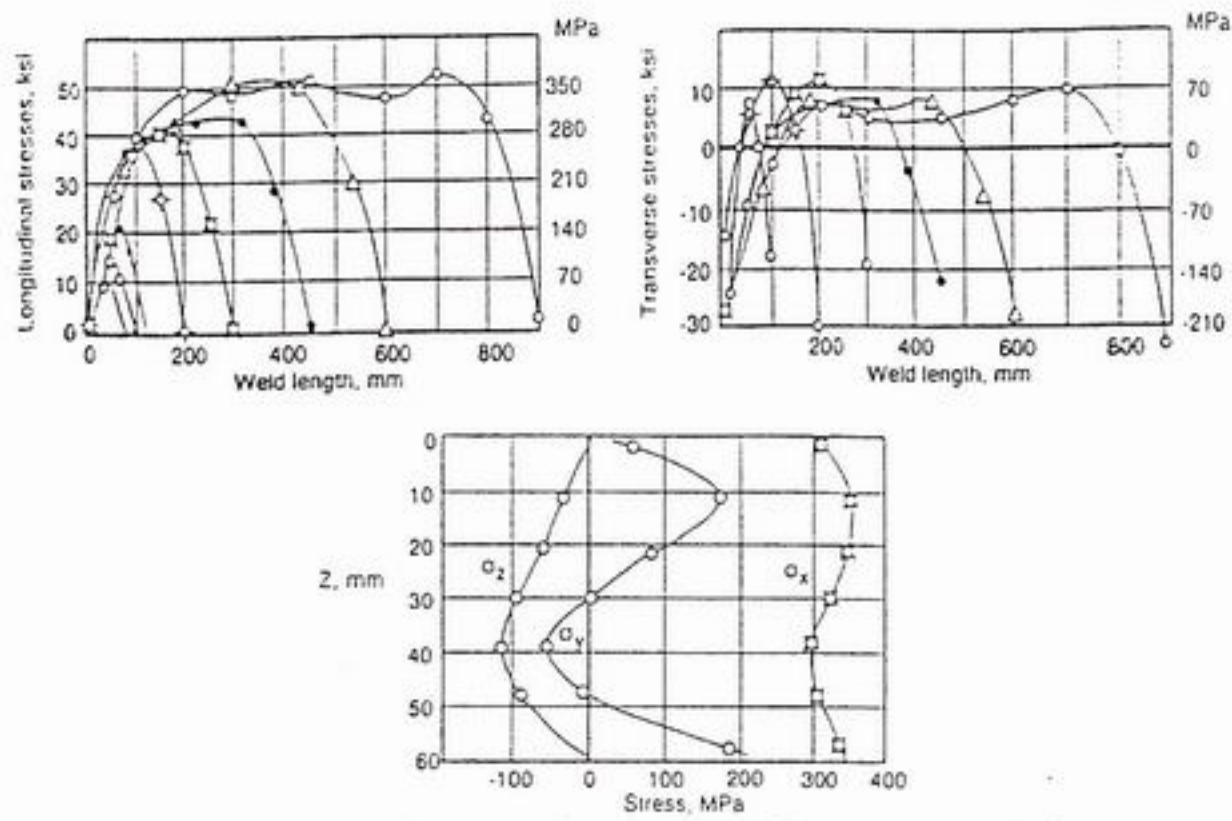
آقای رسول محرمی دارای مدرک کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک از دانشگاه امیرکبیر بوده و از یکسال و نیم پیش با پروژه‌های کنترل کیفیت قدس نیرو همکاری دارد. زمینه علاقه‌مندی ایشان تکنولوژی جوشکاری و طراحی سازه‌های جوشی و مخازن تحت فشار می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات مکانیکی مواد، شکل پخ و پروسه جوشکاری نمونه‌های تهیه شده

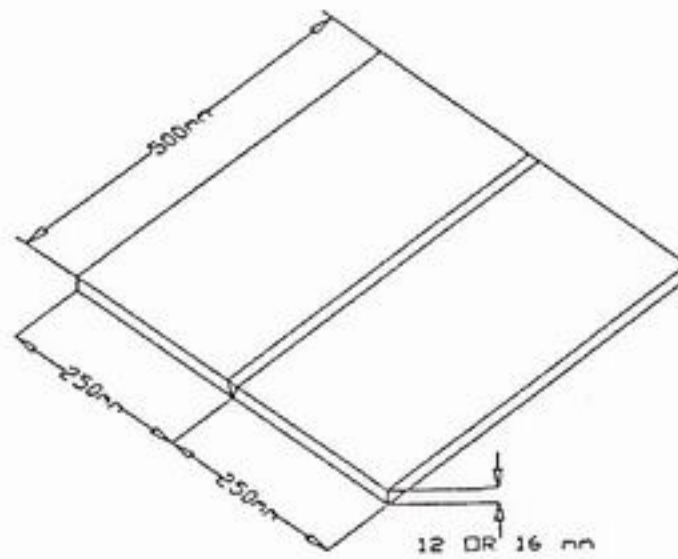
نام نمونه	جنس	تنش تسلیم فلز پایه Mpa	شکل پخ	پروسه جوشکاری
P1	ST 52 فولاد کربنی	۵۲۰	V	SMAW
P2	ST 52 فولاد کربنی	۵۲۰	X	SMAW
P3	ST 52 فولاد کربنی	۵۲۰	V	SAW
P4	S 321 فولاد ضدزنگ	۳۰۰	V	MIG
P5	ST 32 فولاد کربنی	۳۲۰	V	MIG

جدول ۲- خواص مکانیکی فلز جوش و نتایج تست اندازه‌گیری تنش پسماند و مقادیر تصحیح شده

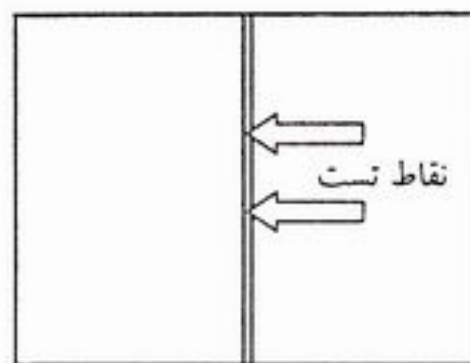
نام نمونه	تنش تسلیم فلز جوش Mpa	شماره تست	تنش پسماند ماکزیمم اندازه‌گیری شده Mpa	تنش پسماند تصحیح شده Mpa	تنش پسماند مینیمم اندازه‌گیری شده Mpa
P1	۴۱۰	۱	۴۵۳	۳۹۵	۲۰۸
		۲	۴۱۴	۳۷۱	۱۷۶
P2	۴۱۰	۱	۳۷۵	۳۴۵	-۱۸
		۲	۳۴۵	۳۱۷	-۱۲
P3	۳۸۰	۱	۳۲۴	۳۰۴	۷۲
		۲	۳۸۳	۳۴۳	۱۲۲
P4	۴۰۰	۱	۴۸۹	۴۰۲	۲۰۰
		۲	۴۴۳	۳۸۲	۲۱۲
P5	۳۶۰	۱	۴۱۰	۳۵۴	۱۸۴
		۲	۳۹۶	۳۴۵	۱۹۷



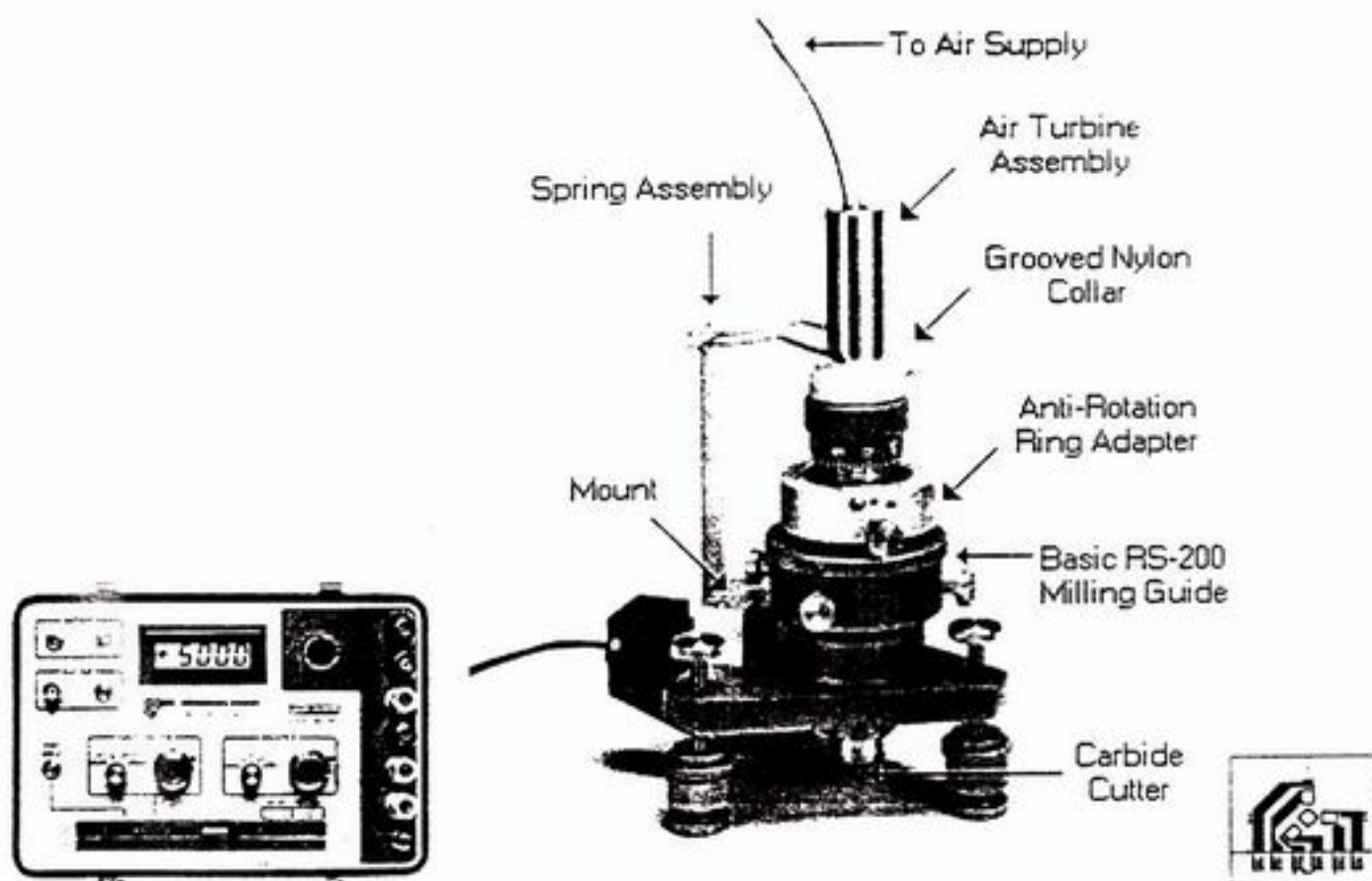
شکل ۱: تغییرات تنشهای پسماند طولی، عرضی و ضخامتی در جوش چند پاسه بر روی فولاد ساختمانی کم کربن



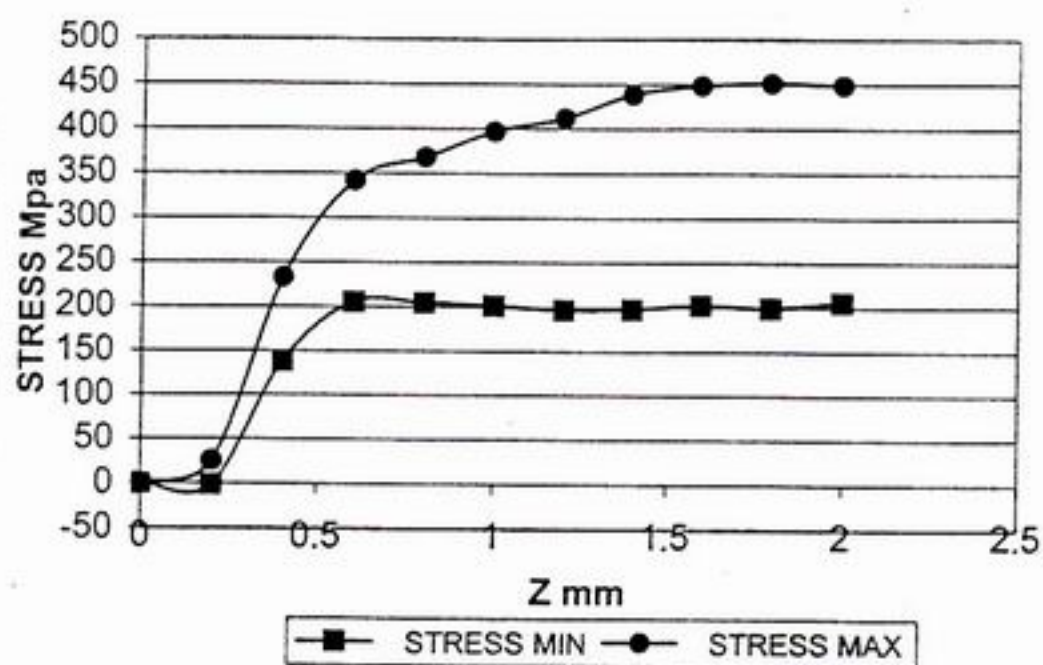
شکل ۲: شکل شماتیک نمونه‌های جوشی تهیه شده



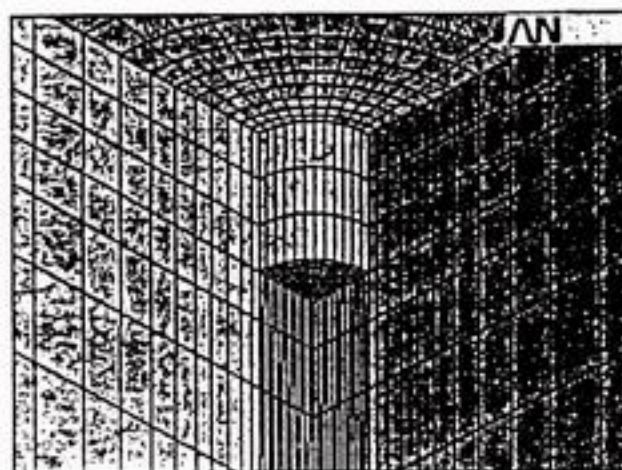
شکل ۳: موقعیت اندازه‌گیری‌ها روی نمونه‌ها



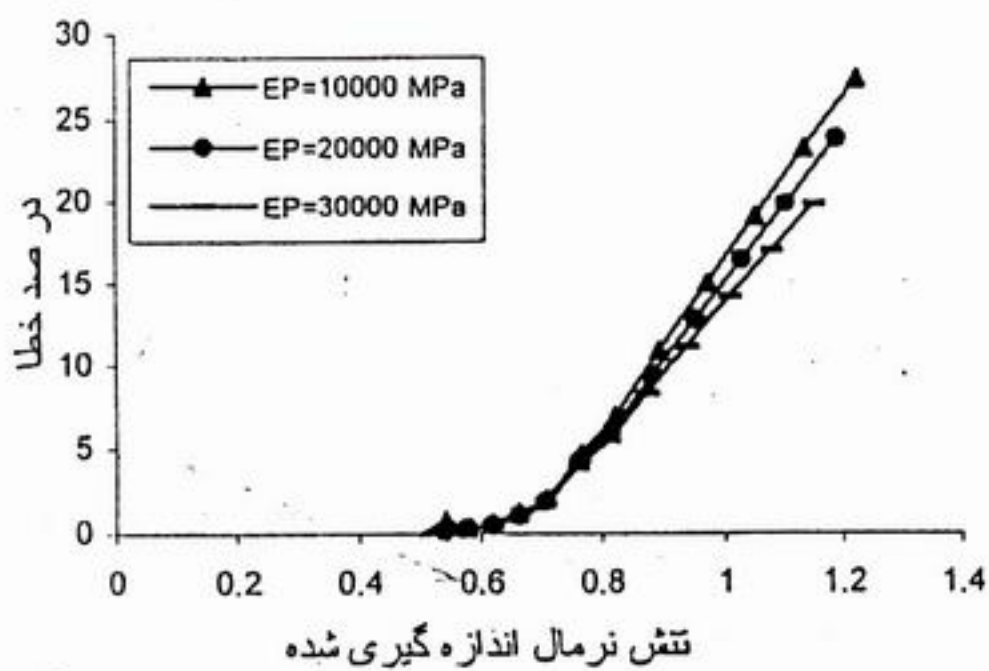
شکل ۴: تجهیزات مورد استفاده در اندازه‌گیری تنش پسماند با روش کرنش سنجی سوراخ



شکل ۵: نمونه نتایج اندازه‌گیری تنش پسماند با روش کرنش سنجی سوراخ



شکل ۶: مدل المان محدود مورد استفاده در آنالیز خطای پلاستیک روش کرنش سنجی سوراخ



شکل ۷: نمودار بدست آمده مربوط به خطای روش اندازه گیری در چند ماده مختلف

اثر آلودگی هوا بر مقره‌های زنجیره‌ای و پست (بخش اول)

آقای محمدحسن زرگر شوشتری

مدیر پروژه‌های برق منطقه‌ای فارس، باختر و گیلان - معاونت مهندسی پستهای انتقال

چکیده:

در این مقاله ضمن توضیح انواع آلودگی‌ها و مواد آلوده کننده مقره‌ها، تئوری شکست مقره‌ها در اثر این آلودگی‌ها و نیز عوامل موثر بر آلودگی مقره‌ها بیان گردیده و انواع آلودگی بحث شده است. بعلاوه نحوه تعیین شدت آلودگی مقره‌ها و روشهای تشخیص آنها به تفصیل بیان گردیده است.

۱- مقدمه

کشور بزرگ ایران دارای آب و هوای مختلف و متفاوتی است که بخش بزرگی از آن آب و هوای خشک و نیمه خشک و کویری است. شرایط نامناسب خاک و همچنین مناطق نیمه صنعتی و صنعتی با آلودگی زیاد باعث آلودگی مقره‌ها شده و در شرایط خاص باعث جرقه خواهد شد. هدف این مقاله بررسی اثر این آلودگی بر مقره‌ها و شناخت نوع آلودگی‌ها می‌باشد.

این مقاله در دو یا سه بخش ارائه خواهد شد که در این قسمت بخش اول آن تقدیم می‌گردد.

۲- آلودگی مقره‌ها و مواد آلوده کننده

به نظر می‌رسد در صورتیکه مقره‌ها از نظر طول و فاصله نشی بگونه‌ای طراحی شوند که پاسخگوی

امواج ضربه‌ای حاصل از رعد و برق باشند خودبخود برای ولتاژهای فرکانس معمولی (فرکانس ۵۰ هرتز) مناسب و مقاوم خواهند بود زیرا وقتی که مقره‌ها جهت ایمپالس طراحی شوند مقاومت ولتاژی آنها در حالت خیس حداقل دو برابر ولتاژی است که مقره با آن در تماس است (ولتاژ فاز بر زمین)، در صورتیکه عملاً خلاف این مسئله مشاهده می‌گردد و خیلی از مقره‌ها در ولتاژهای کار بدون تاثیر ایمپالسها و سایر عوامل و به ویژه در اوایل صبح که شب‌نم و یا مه بوجود می‌آید جرقه می‌زنند.

علت این موضوع ته‌نشین شدن آلودگی بر سطح مقره و خیس شدن آن در اوایل صبح است که جرقه را بدنبال داشته است، لذا بررسی آلودگی مقره‌ها در انتخاب مقره تاثیر بسزای خواهد داشت.

مواد آلوده کننده‌ای که روی مقره‌ها می‌نشینند عبارتند از: خاک، مواد شیمیایی و اسیدها از

مراکز صنعتی، خاکسترهای معلق در هوا (FLY ASH) و سموم کشاورزی. این آلودگیها دارای مواد مختلفی هستند که عبارتند از:

کودهای کشاورزی، سیمان و خاکهای فسفاته، نمکها (محلول و غیرمحلول)، مواد قلیایی، سولفورها، کلرورها و اسیدها (از مناطق صنعتی).

این مواد بخودی خود و در حالت خشک عموماً نمی‌توانند باعث جرقه شوند بلکه در اثر مجاورت و تاثیر رطوبت و باران و شبنم "تقطیر" هادی شده و قدرت مقاومت مفره در برابر ولتاژها را پائین آورده و نهایتاً به جرقه روی سطح مفره منجر می‌شوند.

طبق آزمایشات بعمل آمده، نمکها، خاک سیمان و کودهای کشاورزی مهم‌ترین و حادث‌ترین آلودگیهایی هستند که باعث جرقه می‌شوند.

طبیعی است که فواصل هوایی هیچ گونه تاثیری از این آلودگی‌ها نمی‌پذیرند. ذرات آلوده کننده در حالت خشک دارای مقاومت بالائی (high resistivity) هستند ولی بخاطر جذب رطوبت مقاومت آنها کاهش می‌یابد.

علاوه بر این، ذرات با مقاومت بالا عملاً جذب بخش‌هایی از مفره‌ها می‌شوند که دارای گرادیان ولتاژ بالائی هستند مثلاً در مفره‌های Cap and pin این ذرات در نزدیکی Pin ته‌نشین می‌گردند.

با افزایش رطوبت هوا و نیز در هوای مه‌آلود و بارانی ذرات خشک، رطوبت را جذب کرده و لایه‌ای نازک با قدرت هدایت الکتریکی بالا نسبت به مفره را روی سطح آن ایجاد می‌نماید. در این حالت جریان ناشی مفره افزایش یافته و بعلاوه باعث می‌شود توزیع ولتاژ در امتداد سطح مفره و یا زنجیره مفره تغییر کند. تجربه نشان می‌دهد که مرطوب شدن تدریجی سطح مفره توسط مه و یا

یک باران معتدل و ملایم مه دار جرقه را بیشتر از یک رطوبت کامل بوسیله باران زیاد باعث می‌گردد، زیرا مواد آلوده‌کننده که نمکها، گردسیمان و سموم کشاورزی مهم‌ترین آنها هستند در اثر یک رطوبت معتدل هدایت آنها قابل توجه می‌گردد و شسته نمی‌شوند.

به محض اینکه یک لایه نازک مرطوب روی سطح آلوده شده ساخته شود، الکترولیت‌های محلول در میان آن بتدریج حل می‌شوند و یک لایه نازک از مایع هادی روی سطح مفره شکل می‌گیرد.

قابلیت هدایت این لایه نازک به میزان رطوبت و ترکیب شیمیایی مواد آلوده‌کننده بستگی دارد و بدلیل این لایه هادی، جریان ناشی مفره از میکروآمپر مجاز به میزان بالایی تا میلی‌آمپر افزایش می‌یابد.

بعلاوه مدار معادل زنجیر مفره که در حالت خشک خازنی است تغییر یافته و بیشتر مانند یک مقاومت عمل می‌کند تا یک زنجیره از خازن‌های سری و موازی. چنانچه این لایه نازک مرطوب یکنواخت باشد اثر این مقاومت توزیع ولتاژ یکنواخت‌تری در امتداد مفره خواهد بود. البته عملاً اینگونه نیست و بدلیل یکنواخت نبودن لایه هادی، توزیع ولتاژ نیز غیریکنواخت خواهد بود.

۳- جریان ناشی و برق زنی

بمحض اینکه جریان ناشی افزایش یابد و لایه آلودگی شروع به هدایت کند ستون نور آبی رنگ کرونا در مفره ظاهر می‌گردد.

در مفره‌های Cap and pin این ستون نور که بکر آن آزاد است در مرز مفره با سیمان pin

افزایش می‌یابد و سرعت یک باند خشک (Dry band) دایره‌ای که pin را دور می‌زند تشکیل می‌گردد. در زنجیره‌های مفره آویزی این باندها همزمان و در همه واحدها تشکیل نمی‌گردند بلکه تشکیل آنها به ولتاژ و توزیع آلودگی و رطوبت در زنجیره مفره وابسته می‌باشد.

با تشکیل این باندهای خشک ولتاژ وارده بر زنجیر مفره تقریباً بطور کامل روی این باندها تمرکز می‌یابد.

این باندهای خشک دارای مقاومت بالایی در وضعیت خشک هستند و جریان نشتی سطح آنان بسیار پائین آمده و گرادیان ولتاژ در هوای بالای سطح خشک افزایش می‌یابد.

اگر قدرت تحمل (Withstand strength) هوا کمتر از ولتاژ مذکور در بالای سطح خشک گردد باندهای خشک جرقه خواهند زد و باعث ایجاد یک پالس جریان می‌شوند.

برای یک واحد مفره (Cap and pin) فقط مقاومت سطوح آلوده باقیمانده که در آنها باند خشک تشکیل نشده مقدار جریان را محدود و کنترل می‌کند و در یک زنجیره مفره باندهای خشک که جرقه نزده‌اند میزان جریان را پائین نگه می‌دارند. تخلیه در باندهای خشک باعث تبخیر بیشتر آب و پهن شدن این باندها می‌گردد. این باندها متناوباً جرقه زده و مجدداً رطوبت را جذب می‌نمایند و با جرقه زدن هر واحد یک ولتاژ اضافی باندهای خشک سایر واحدها را تحت فشار قرار داده و بتدریج کلیه باندهای خشک جرقه خواهند زد.

عمل جرقه زدن ادامه پیدا می‌کند تا اینکه یا به اتصال کامل زنجیره مفره منجر گردد و یا با شسته شدن مواد آلوده در اثر باران و یا سوختن مواد

شکل می‌گیرد. این نورها تشکیل یک باند آبی رنگ دایره‌ای کم رنگ که شعاعهای درخشان تری در آن پراکنده است را می‌دهد، طول آنها کوتاه و حدود $\frac{1}{2}$ یا $\frac{1}{4}$ اینچ می‌باشد و به مفره چسبیده‌اند. جریان در این حالت حدود یک میلی‌آمپر می‌باشد. در صورتیکه رطوبت تداوم داشته باشد بعد از مدتی (چند دقیقه) تخلیه در زیر مفره شروع می‌شود و به لبه‌های زیر نیز کشیده می‌شود. در این مرحله جریان پالس بین 1-10 MA و زمان قوس در حد میکروثانیه و تخلیه خازنی است. در صورت ادامه رطوبت، جرقه‌ها لبه‌های داخلی را در بر می‌گیرند و برای چندین سیکل عمل می‌کنند و جریان نشتی در این حالت 100-1000 MA خواهد بود. چنانچه جریان نشتی از 300 MA بیشتر گردد احتمال جرقه در زنجیره مفره قوی خواهد بود.

۴- تئوری شکست در اثر آلودگی

پروژه‌ای که به شکست زنجیره مفره منتهی می‌گردد با تشکیل نوارهای خشک (dry bands) شروع می‌شود.

بمحض اینکه لایه آلوده خیس شود، بشکل یک لایه الکترولیتی در می‌آید و باعث افزایش جریان نشتی می‌شود. البته بدلیل اینکه لایه آلوده و نیز رطوبت در سطح مفره یکنواخت نیست دانسیته جریان نشتی نیز یکنواخت نخواهد بود.

در بعضی از قسمت‌ها و به ویژه در مجاورت pin دانسیته جریان بالا باعث تبخیر رطوبت می‌شود بعدی که رطوبت تبخیر شده از جذب شده بیشتر شده و باعث ایجاد نقاط خشک می‌گردد. بمحض اینکه یک نقطه کوچک خشک توسعه پیدا کند در بقیه قسمت لایه مرطوب و در سایر نواحی که بفاصله مساوی از پین هستند جریان نشتی

آلوده در اثر جرقه به عادی شدن شرایط کار مقرر منجر گردد.

جرقه مفره‌ها بخاطر آلودگی از سایر جرقه‌ها بدلیل اینکه قوس همیشه در نزدیک سطح هر واحد مفره آغاز می‌شود قابل تشخیص می‌باشد. جهت روشن شدن بهتر تشکیل لایه آلودگی، اثر عوامل مؤثر بر آن را بطور خلاصه بیان می‌کنیم.

۵- عوامل مؤثر بر آلودگی مفره‌ها

۵-۱- بررسی تاثیر خاک

از مهمترین و معمول‌ترین آلودگیهای مفره، خاک می‌باشد که بر روی مفره‌ها می‌نشیند. بادهای خاک‌آلود باعث ایجاد لایه‌ای از خاک بر روی مفره‌ها می‌گردد.

بررسی نشان داده است که توزیع خاک روی مفره‌ها یکنواخت نبوده و بیشتر آلودگی‌ها در داخل چترهای (لبه‌های) مفره‌ها تثبیت می‌شود. این خاکها عموماً در شرایط خشک هادی نیستند اما با مرطوب شدن مکرر سفت شده و به مفره می‌چسبند و در هوای مرطوب در اثر رطوبت هوا، شبنم صبحگاهی، تقطیر آب روی مفره‌ها و یا بارانهای سبک، خیس شده و هادی می‌شوند و باعث کاهش فاصله نشی مفره‌ها می‌گردند.

نشست خاک بر مفره، به خاک آلوده بودن هوا، تعداد روزهای خاک آلود و شکل مفره بستگی دارد و احتمال جرقه بدلیل وجود خاک به هدایت الکتریکی آن و رطوبت هوا وابسته است.

خاکهای نشسته بر مفره‌ها هم از نقاط نزدیک و هم از نقاط دور دست توسط باد بر روی مفره می‌نشینند.

اصولاً زمینهایی که دارای نمکهای زیاد هستند دارای مکانیسم گسسته‌ای نیز می‌باشند و عبور باد از روی این مناطق باعث بلند شدن خاکهای شامل نمکها گشته و باد آنها را بر روی سطح مفره‌ها

منتقل می‌کند. برعکس خاکهایی که دارای نمک کمتری می‌باشند مکانیسم بهم چسبیده‌ای دارند و خاک کمتر می‌تواند در ضمن عبور از آن مناطق به نمکها آلوده گردد.

یک عامل تغذیه‌کننده اثر خاک این است که آلودگی‌ها بیشتر جذب نقاط با گرادیان ولتاژ بالا که عموماً در نزدیک اتصال مفره به هادی است می‌شوند و در حقیقت بخاطر باردار شدن ذرات در اثر عواملی نظیر کرونا، این ذرات جذب نقاط باگرادیان بالای ولتاژ می‌گردند.

۵-۲- اثر رطوبت

رطوبت تاخیر مثبتی در زدن جرقه الکتریکی در فواصل هوایی دارد، زیرا با ازدیاد رطوبت فشار الکتریکی شروع یونیزاسیون بزرگ می‌گردد و این بدان علت است که الکترونهای بر روی ذرات بخار آب نشسته و مانع شکل‌گیری بهمن الکترونی که آغازکننده شکست الکتریکی است می‌گردد.

رطوبت فقط در صورتیکه بشکل مایع (کندانسه) روی الکترودها و مفره‌ها بنشیند خطرناک است و دقیقاً در مورد مفره‌ها نیز مسأله همین است. بالابودن و تعداد روزهای مرطوب و نیز میزان رطوبت نسبی نقش تشدیدکننده‌ای در ایجاد جرقه آلودگی دارد.

۵-۳- اثر شبنم

نقطه شبنم بعنوان دمائی که در آن مقدار مشخصی از هوا باید در فشار ثابت و محتوی بخار آب ثابت، خنک شود تا اشباع انجام گردد تعریف می‌شود.

شرایط تشکیل شبنم بقرار زیر می‌باشد:

۱- هوا صاف و آرام باشد.

۲- باد با سرعت بیشتر از 0.5m/Sec بوزد.

وجود باد باعث جابجائی مواد یونیزاسیون در زمان Dead time شده و تضمینی در وصل مجدد می باشد.

۵-۵- اثر باران

باران دارای دو اثر متفاوت بر آلودگی است: یکی در شروع باران و یا در بارانهای کوتاه مدت و یا با سرعت کم که باعث خیس شدن آلودگیها روی مقره و هادی شدن لایه مرطوب می گردد و دیگری بارانهای شدید و یا طولانی که باعث شسته شدن آلودگیها از روی مقره ها می شوند. فقط در مقره های عمودی بارانهای سیل آسا باعث اینکه بشکل آبشار از هر لبه مقره به لبه ای دیگر می ریزد باعث کاهش شدید ولتاژ جرعه بحرانی می گردند (کاهش تا حدود ۲۹ درصد نسبت به جرعه مقره خشک مشاهده شده است).

علاوه بر شدت باران مقاومت ویژه آب باران (Water Resistivity) نیز در کاهش ولتاژ جرعه بحرانی (critical flash over voltage) موثر است و هرچه این مقاومت بیشتر باشد باعث کاهش احتمال جرعه خواهد بود.

۶- مراجع

1. IEC 507- Artificial pollution tests on High voltage Insulators to be used on AC system.
2. IEC-815
Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions.
3. Compendium on high voltage insulator contamination theory and laboratory test method- H.E. remde.
4. The HV transmission line reference book.
5. The criterion pollution flashover and Its application to insulation dimensioning verma- Heise-Lipken-Luxa schreiber

۳- درجه حرارت در حال کاهش باشد.

۴- هوا مرطوب باشد.

بیشترین شبنم در ماههای مرطوب امکان تشکیل دارد و شبنم عموماً در اوایل صبح شکل می گیرد. آمار نشان می دهد که بیشتر جرعه ها در ساعت ۴/۵ تا ۷/۵ صبح اتفاق می افتد و این همان زمان تشکیل شبنم می باشد.

مسئله تداوم نشت شبنم نیز امر بسیار مهمی است و فاکتوری است که احتمال تشکیل جرعه را بالا می برد و تجربه نشان می دهد که حداقل تداوم زمان نشت شبنم بر مقره ها بر جهت ایجاد جرعه ۲ ساعت می باشد.

در مورد مقره ها تاثیر شبنم و رطوبت را می توان بعنوان عاملی در کاهش مقاومت مقره محسوب کرد.

۵-۴- تاثیر باد

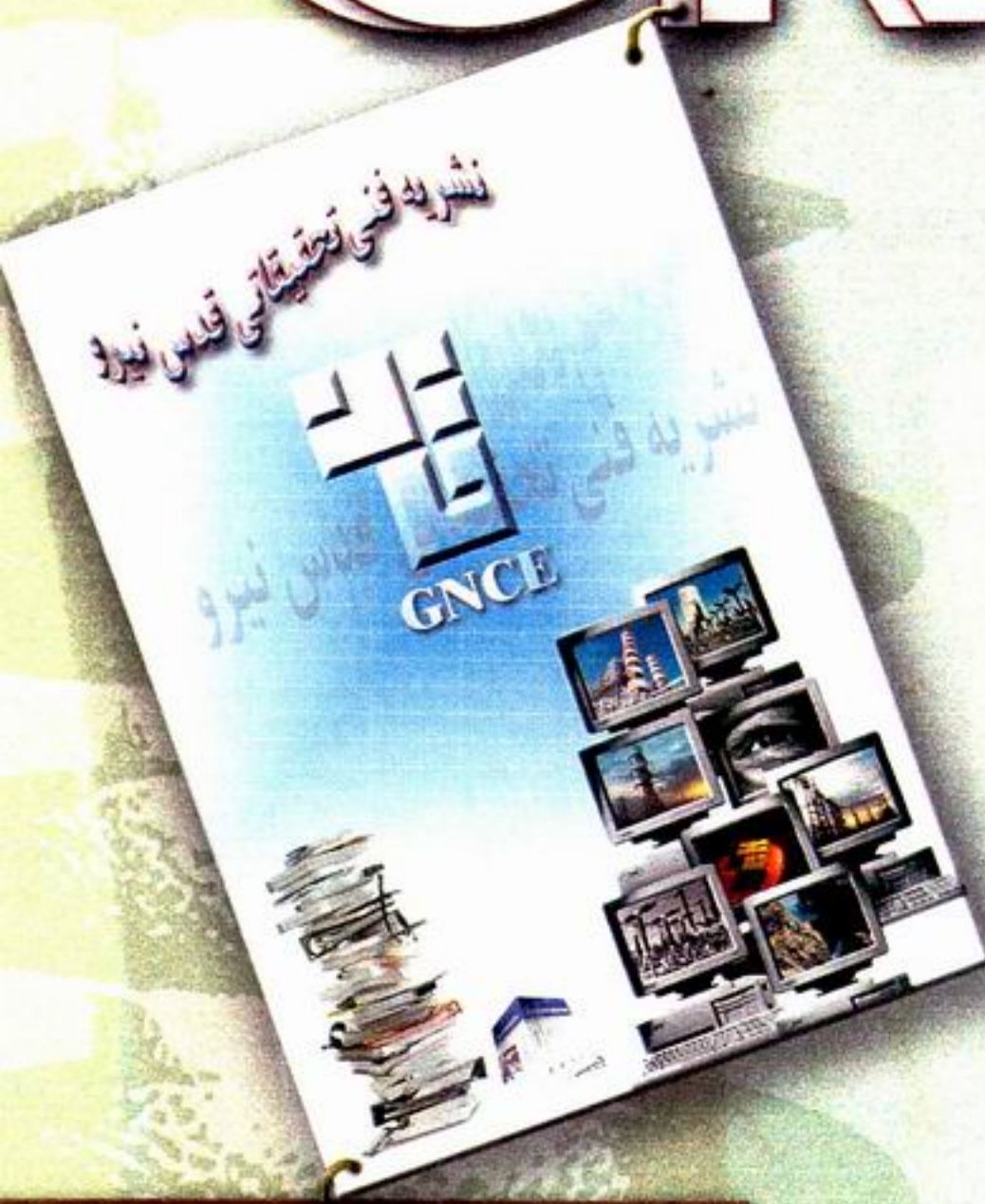
باد بطور کلی اثری بر مقاومت جرعه ندارد اما خود عامل اصلی جابجائی خاکها و نشست آنها بر مقره می باشد. عموماً بادهای تند اثر تمیزکننده ای بر آلودگی مقره دارند ولی بادهای ملایم عامل تشدیدکننده آلودگی برای مقره ها میباشند. مشخص شده است که ۸۵٪ جرعه ها وقتی که سرعت باد از ۳/۵ متر در ثانیه کمتر بوده است (12/5 km/h) اتفاق افتاده است و از طرفی همانگونه که قبلاً بیان گردید تشکیل شبنم در بادهای با سرعت کمتر از ۰/۵ متر بر ثانیه (1/8 Km/h) صرفنظر کردنی است یعنی سرعت موثر باد برای ایجاد جرعه در مقره ها را می توان بین ۰/۵ تا ۳/۵ متر بر ثانیه یا ۱/۸ - ۱۲/۵ کیلومتر بر ساعت دانست.

باد یا حرکت هوا تاثیر محسوسی بر مقاومت شکست فواصل طولانی ندارد، فقط بعد از اتفاق اتصالی جهت استفاده از سیستم وصل مجدد،

6. Experiences on the continuous monitoring of the leakage current on polluted insulators in service in federal republic of germany.
7. Cigre paper 33-05-performance of EHV transmission line insulators under desert pollution condition.
8. Cigre paper 33-03
Comparative tests on contaminated insulators with reference to desert conditions.
9. Necessity and methods for site pollution severity measurement
M.P. Verma.
10. Leakage current monitoring on line and post insulators in network with the FGH instrument.

آقای محمدحسن زرگر شوشتری دارای لیسانس مهندسی برق با گرایش قدرت از دانشگاه امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) بوده و ۲۲ سال سابقه کار دارد که ۲۱ سال آن در شرکت قدس نیرو می باشد. زمینه فعالیت آقای زرگر شوشتری مشاوره و طراحی پستهای فشارقوی و علاقه مندی ایشان در مورد اثر آلودگی بر عایقهاست.

GNCE



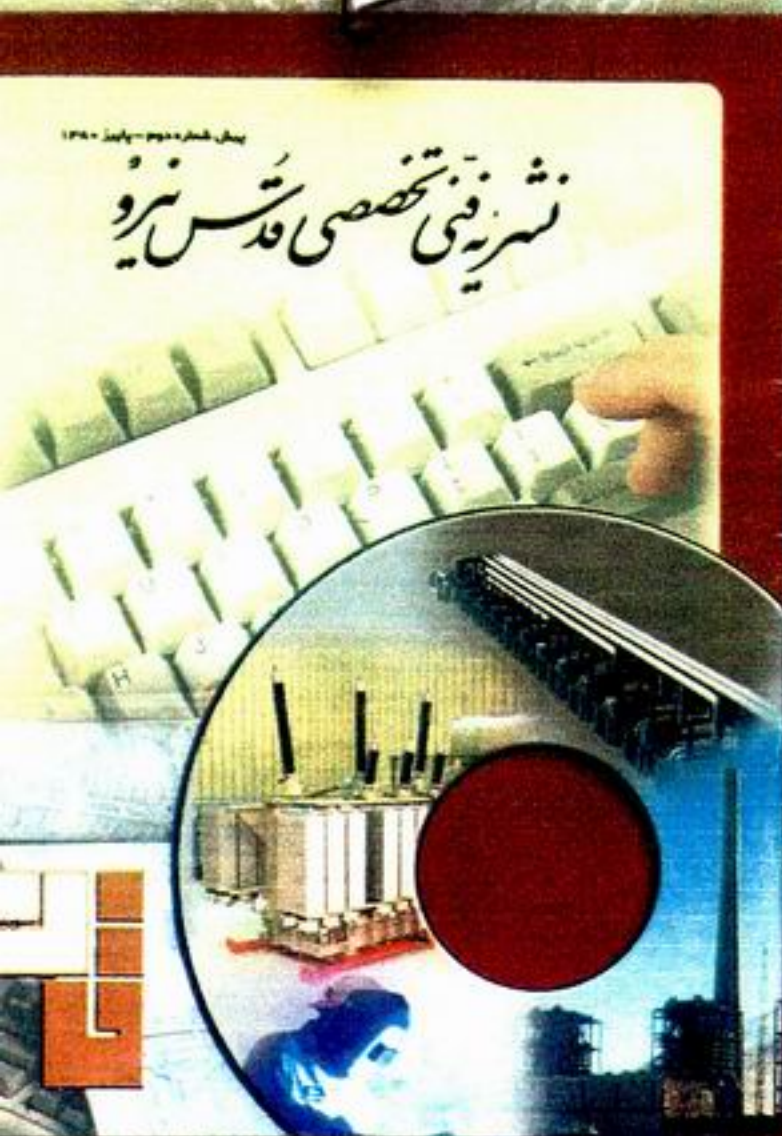
با تشکر از همکاری آقایان:

- ۱- مهندس حسین بختیاری زاده
- ۲- مهندس احمدفریدون درافشان
- ۳- مهندس علی شاه حسینی
- ۴- دکتر سلیمان شکارچی
- ۵- دکتر همایون صحیحی
- ۶- مهندس منصور قزوینی
- ۷- مهندس شادان کیوان

از خانم بهرامعلی جهت تایپ مقالات سپاسگزاریم.

این نشریه از طریق اینترنت قدس نیرو نیز در دسترس علاقمندان می باشد.

نظرات، پیشنهادات و سئوالات احتمالی خوانندگان کرامی از طریق اینترنت شرکت با فعال نمودن آیكون مربوطه در انتهای مطالب نشریه قابل ارائه و انعکاس می باشد.





تهران - خیابان استاد مطهری - چهارراه سه‌رودی ، شماره ۹۸ ، کد پستی : ۱۵۶۶۴

تلفن : ۸۴-۳۶۱۳ - ۸۷-۰۴۵۴ - ۸۴۱۱۷-۴ فاکس : ۸۴۱۱۷-۴

تلگراف : شر قدس نیرو ایران تلکس : جی ان سی ای ایران ۲۲۴۵۰۷

NO.98 OSTAD MOTAHARI AVE. TEHRAN 1566775711- IRAN

TEL : 8403613 - 8700454- 8411704 Email : info @ ghods-niiroo.com

CABEL : SHERGHODS NIROO IRAN - FAX : 8411704