قدیر

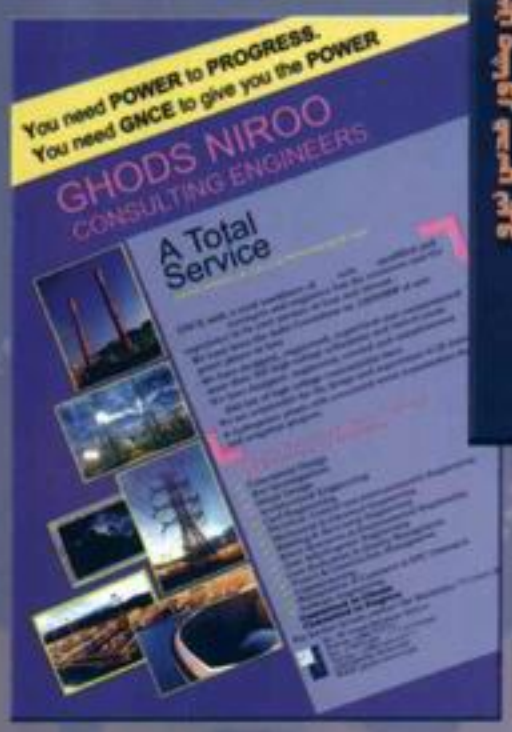
نشریه فنی تخصصی
شماره ۲۰ -زمستان ۱۳۸۵

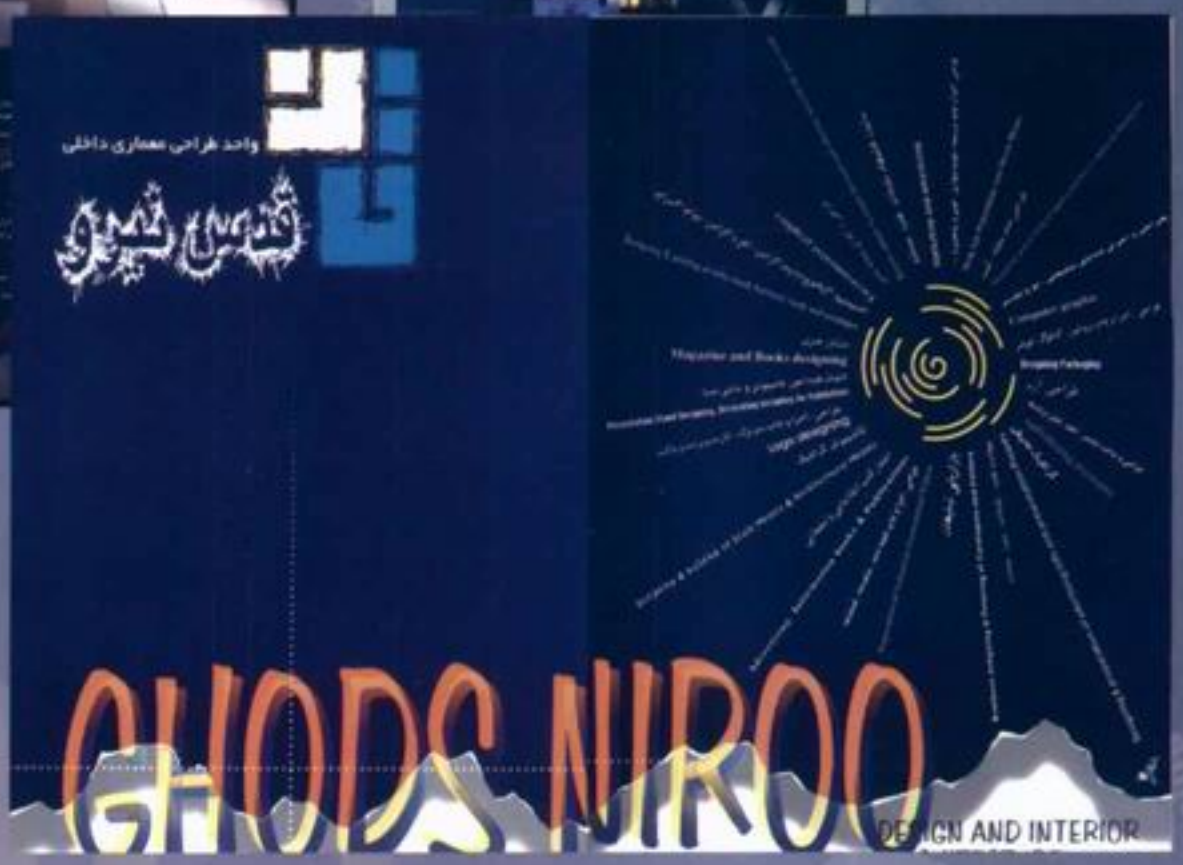
GNCE

واحد طراحی و تبلیغات قدس نیرو

شرکت مهندسین مشاور قدس‌نیرو با بهره‌گیری از کارشناسان مجرب گرافیک و دستگاههای مدرن،چاپ وپلات واحد طراحی و تبلیغات را ازسال ۱۳۷۰ ایجاد نموده است که طی این سالها فعالیتهای زیادی از قبیل طراحی سربرگ، سررسید، بروشور، فلدر، ماکت وبرپایی نمایشگاههای داخلی و خارجی‌را عهده‌دار بوده است.

این واحد آمادگی ارائه خدمات مشاوره، طراحی، تجهیز نمایشگاهها و چاپ انواع کاتالوگهاو سربرگها را داردکه با بهره‌گیری از مجهزترین چاپخانه موجود در ایران باکیفیت‌ترین کارهای چاپی را ارائه خواهد داد.





بسمه تعالی

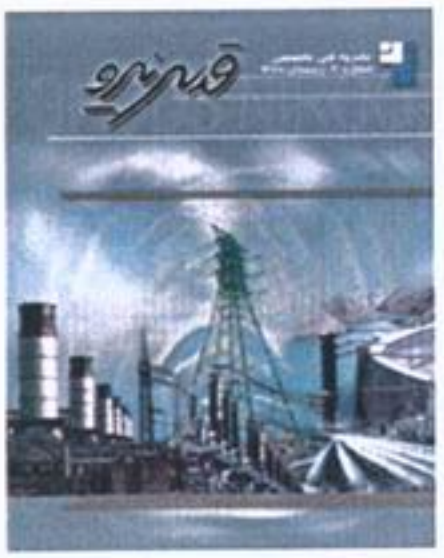
نشریه فنی تخصصی قدس نیرو
شماره ۲۰ -زمستان ۱۳۸۵

مدیر مسئول: مهندس احمد شکوری‌راد
سـر دبـیـر : مهندس فتانه دوستدار
طـراحـی : واحد طراحی و تبلیغات

با تشکر از همکاری آقایان:
- مهندس احمد اهرابی
- مهندس حسین بختیاری‌زاده
- مهندس احمد فریدون درافشان
- مهندس علی شاه‌حسینی
- دکتر همایون صحیحی
- مهندس منصور قزوینی
- مسعود نجمی

ازمدیر و همکاران محترم امور پشتیبانی سپاسگزاریم.

هیأت تحریریه:
مهنـدس پـورنگ‌پاینـده، مهندس حسن تفرشی، مهندس مسعود حبیبا...زاده، مهندس فتانه دوستدار، مهندس محمد ابراهیم رئیسی، مـهنـدس محـمد حـسن زرگـر شوشتری، مهندس محمود زواری، مهندس فرهاد شاهمنصوریان، مهرداد صارمی، دکتر همایون صحیحی، مهندس غلامرضا صفارپور، دکتر جعفر عسگری، مهندس نرگس علیرمائی، مهندس امیرهمایون فتحی، مهندس علی‌اصغر کسائیان، مهندس وحید مرتضوی، مهندس‌محمدیحیی نصرالهی، مهندس محمدرضا نصرالهی، مهندس بهروز هنری.



فهرست مطالب

معرفی ۱
سرمقاله ۲
مقایسه روشهای شی گرا و سنتی تولید نرم افزار- مهندس پیمان برازنده و مهندس نادر وطندوست ۳
سیستمهای تولید همزمان حرارت و الکتریسیته- مهندس علیرضا شفیعی ده آباد ۱۱
ترکیب RO و EDI برای تولید آب فوق خالص- مهندس حسین حق پرست ۲۸
روش تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی- مهندس حسین دانشور ۳۳
انواع خوردگی در پمپها و شیر آلات و ملاحظات لازم جهت حفاظت از خوردگی- مهندس ساناز اسد کرمی ۴۴
تأثیر حضور منابع تولید پراکنده در حفاظت شبکه‌های توزیع- مهندس سید علی محمد جوادیان فیروزآبادی ۵۴

این نشریه از طریق اینترانت قدس‌نیرو نیز در دسترس علاقمندان می‌باشد.
ارتباط مستقیم با مقاله‌دهندگان از طریق Email یا فاکس آنان در انتهای هر مقاله و همچنین ارائه نظرات، پیشنهادات و سؤالات احتمالی خوانندگان گرامی از طریق اینترانت قدس‌نیرو و یا شماره تلفن نشریه ۸۸۴۴۲۴۸۲ امکان‌پذیر می‌باشد.

از خوانندگان محترمی که مایل به ارسال مقاله برای نشریه می‌باشند تقاضا می‌شود موارد ذیل را رعایت فرمایند:

- موضوع مقاله در چارچوب اهداف نشریه و در ارتباط با صنعت آب، برق، نفت و گاز و پتروشیمی باشد.
- مقاله‌های تألیفی یا تحقیقی مستند به منابع علمی معتبر و مقاله‌های ترجمه شده منضم به تصویر اصل مقاله باشد.
- مقاله ارسالی بر روی یک کاغذ A4 و با خط خوانا و یا تایپ شده و شکل‌ها، عکس‌ها، نمودارها و جداول کاملاً واضح و قابل استفاده و حتی‌الامکان به روش گرافیک کامپیوتری ارائه گردد.
- توضیحات و زیرنویس‌ها به صورت مسلسل شماره‌گذاری شده و در پایان هر مقاله ذکر شوند.
- نشریه در تلخیص، تکمیل، ادغام و ویرایش مطالب مقالات آزاد است.
- مقاله دارای چکیده، مقدمه، نتیجه‌گیری و لیست مراجع بوده، به همراه رزومه مختصری از صاحب مقاله ارائه گردد.
- مقاله ارسالی قبلاً در نشریه دیگری چاپ نشده‌باشد.
- موارد فوق‌الذکر برای دریافت مقاله از علاقمندان خارج از قدس نیرو نیز برقرار می‌باشد.

سرمقاله

شرح مفاهیم تعالی سازمانی موضوع تعدادی از سرمقاله های قبلی این نشریه بوده است. اما امروز که قدس نیرو در این عرصه گامی فراتر آمده است و به اخذ گواهی تعالی سازمانی نایل شده سوالی که جای پرسیدن دارد این است که تفاوت‌های اصلی این مدل با سایر مدل‌ها و استانداردهای مدیریتی مطرح در کشور چه بوده که زمینه توسعه گسترده این مدل را در عرصه مدیریتی کشور فراهم آورده است. در این سرمقاله به اجمال به شرح این تفاوتها خواهیم پرداخت.

مدل‌های تعالی سازمانی در نگاه نخست دو تفاوت عمده با ابزارهای پیشین داشته‌اند. اولین تفاوت عمده نتیجه گرا بودن آن است. در اغلب موارد استانداردها و ابزارهای مدیریتی بر نحوه انجام فعالیت‌ها متمرکز شده‌اند به همین دلیل عموماً اثربخشی فعالیت‌های صورت گرفته در بنگاه‌های اقتصادی مورد توجه قرار نمی‌گیرد. به همین علت به طور روزمره شاهد اخذ گواهینامه‌های متعدد استانداردها هستیم بدون آنکه اطمینان کاملی نسبت به ارتقای سطح کیفیت محصولات و سایر نتایج مورد انتظار از آنها را داشته باشیم. یکی از تفاوت‌های عمده در مدل‌های تعالی سازمانی پرداختن به نتایجی است که سازمان در اثر به کارگیری توانمندسازها یعنی ابزارها و سیستم‌های خود به دست می‌آورد. به این دلیل، مدل EFQM به عنوان مدل منتخب کشور در تعالی سازمانی ۵۰٪ از امتیاز سازمان‌ها را به نتایج به دست آمده در حوزه مشتریان، کارکنان، جامعه و نتایج کلیدی عملکرد اختصاص می‌دهد. همین نکته باعث شده، علیرغم تلاش مجدانه سالیان گذشته، بالاترین سطح به دست آمده در ارزیابی این مدل توسط تعداد انگشت شماری از شرکت‌های ایرانی، در حدود نصف امتیاز کل مدل تعالی باشد. بدیهی است اهتمام در به‌کارگیری مدلی که نتایج به دست آمده از آن در مورد کلیه ذی‌نفعان از جمله مشتریان را فراتراز ادعای سازمان‌ها مورد توجه قرار می‌دهد، می‌تواند زمینه مناسبی را برای تحول آفرینی در بنگاه‌های اقتصادی فراهم آورد.

تفاوت دوم مدل‌های تعالی سازمانی با سایر استاندارد های مدیریتی جامع بودن و در بر گرفتن همه عوامل مؤثر بر نتایج سازمان است. در اغلب استانداردها و ابزارهای مدیریتی، دامنه محدودی از فعالیت‌های سازمانی مورد توجه و ارزیابی قرار می‌گیرند. اما در مدل‌های تعالی همه فعالیت‌های سازمان در پنج حوزه رهبری، کارکنان، مشارکت‌ها و منابع، خط مشی و استراتژی و فرایندها مورد بررسی قرار گرفته و اصول لازم برای برتری سازمانی تعریف می شود.

شرکت قدس‌نیرو با درک این تفاوت‌ها مدل EFQM را به عنوان نقشه راه اصلاح سیستم‌های خود انتخاب نموده و با هدف ترویج این مسیر در داخل و بیرون از سازمان در جوایز ملی و بین‌المللی که در این زمینه برگزار می شود، حضور فعالی داشته است.

بدیهی است، دستیابی به سطوح بالای تعالی مستقل از عملکرد مشتریان، شرکا و جامعه (ذی‌نفعان) و باتوجه به میزان تأثیر آنها ناممکن خواهد بود. لذا شرکت قدس‌نیرو موفقیت‌های خود را در این عرصه مرهون تعامل و حضور گروهی از ذی‌نفعان می‌داند که خود در این مسیر پیشرو و حامی بوده‌اند.

مقایسه روش‌های شی‌گرا [1] و سنتی [2] تولید نرم‌افزار

پیمان برازنده
سرپرست پروژه- مدیریت ارشد مهندسی شبکه‌های انتقال و توزیع نیرو
نادر وطندوست
سرپرست آموزش- مدیریت ارشد مهندسی شبکه‌های انتقال و توزیع نیرو

چکیده

فرآیند تولید نرم‌افزار شامل چندین فعالیت عمده است که عبارتند از: جمع‌آوری نیازمندی‌ها، تجزیه و تحلیل، طراحی، پیاده‌سازی، تست و استقرار محصول. برای تولید نرم‌افزار دو رویکرد "شی‌گرا" و "سنتی" وجود دارد. هر کدام از این رویکردها برای انجام هر یک از فعالیت‌های ذکر شده در فرآیند تولید یک محصول، تکنیک، ابزار و رویه‌های توسعه خاص خود را دارند. طی ۲۵ سال گذشته، مهندسی نرم‌افزار و محصولات نرم‌افزاری به طور روزافزونی پیچیده شده است و تکنیک‌ها، ابزارها و تکنولوژی‌های مورد استفاده به سرعت در حال تغییر می‌باشند. در سال‌های اخیر گرایش فوق‌العاده زیادی به سوی تولید نرم‌افزار با استفاده از تکنیک‌ها و متدلوژی‌های شی‌گرا به وجود آمده است و تقریباً استفاده از رویکرد سنتی و ساختار یافته جای خود را به رویکرد شی‌گرا داده است. در این مقاله مقایسه مختصری بین دو رویکرد فوق صورت گرفته است و تفاوت‌های عمده موجود بین آنها به طور خلاصه بیان شده است.

۱- مقدمه

مقایسه روش‌های شی‌گرا و سنتی تولید نرم‌افزار از جنبه‌های مختلف از قبیل بررسی چگونگی تفاوت متدلوژی‌های مورد استفاده در فرآیند تولید نرم‌افزار و تکنیک‌ها و ابزار به کار گرفته شده در هر یک از دو رویکرد فوق با یکدیگر، یا یافتن تشابه بین روش‌های ذکر شده، جالب و قابل توجه است. اگرچه راه‌های متعددی برای مقایسه رویکردهای سنتی و شی‌گرای تولید نرم‌افزار وجود دارد، ولی هیچ روش مورد توافق قرار گرفته‌ای برای مقایسه یا ارزیابی وجود ندارد. مقایسه صورت گرفته در این مقاله، یک مقایسه بسیار تخصصی و تکنیکی نیست، اما ثابت خواهد کرد مدل‌سازی و طراحی شی‌گرا نیازمند یک روش تفکر متفاوت برای تجزیه و تحلیل نرم‌افزار است و معماری‌های نرم‌افزاری تولید شده توسط آن تا حد بسیار زیادی خارج از قلمرو فرهنگ و تفکر طراحی ساختار یافته (سنتی) است.

این تفاوت‌ها عمدتاً از این حقیقت ناشی می‌شود که روش‌های طراحی ساختار یافته موجب برنامه نویسی ساختار یافته می‌شود، در حالی که طراحی شی‌گرا سبب برنامه‌نویسی شی‌گرا می‌شود.

۲-جنبه‌های کلیدی مورد مقایسه

در این مقاله جنبه‌های زیر مورد بررسی قرار خواهند گرفت:

- چارچوبی برای مقایسه
- چرخه‌های حیات گوناگون تولید نرم‌افزار
- تفاوت قابلیت های متدلوژی (مجموعه روش‌های) عمومی - تفاوت مراحلی (فازهایی) که در آنها اطلاعات شناخته می‌شوند.
- مقایسه پشتیبانی از اصول مهندسی نرم‌افزار

۳- چارچوب مقایسه کننده

اگر مقایسه بر مبنای یک چارچوب مشخص صورت نگیرد، در آن صورت مقایسه‌ای کامل صورت نگرفته

1- Object Oriented
2- Traditional

است. چارچوب استفاده شده در این مقاله بر اساس چارچوب جامعی.است که در سال ۱۹۸۹ توسط Olle و همکارانش ارائه شده است.
ذکر این نکته ضروری است که این چارچوب یک چارچوب مقایسه عمومی روش‌های سنتی و شی‌گرا است که فقط دربارهٔ متدلوژی‌های خاص تمرکز نمی‌کند . به طور مشخص، یک چارچوب مقایسه کننده هنگامی مفید است که بتواند کامل بودن یک روش خاص را تعیین کند و ایده ای برای فرآیند تجزیه و تحلیل و تولید نرم‌افزار در اختیار قرار دهد. چارچوب مقایسه کننده، Olle روش‌ها را از جنبه‌های زیر مقایسه می‌کند :
- مدل‌های چرخه حیات تولید نرم‌افزار [1]
- فازهایی که در آنها اطلاعات شناخته می‌شود.
- قابلیت‌های عمومی
- پشتیبانی از اصول مهندسی نرم‌افزار

۴- مدل‌های چرخه‌حیات تولید نرم‌افزار (SDLC)

مدل SDLC روش‌های شی‌گرا شامل سه فاز اصلی است: تجزیه و تحلیل شی‌گرا، طراحی شی‌گرا و پیاده سازی شی‌گرا. ویژگی‌های بارزی که در مورد هر سه فاز کاربرد دارند ویژگی تکرار [2] و توسعه تدریجی [3] می‌باشند. تاثیر دو ویژگی مذکور این است که رویکرد کلی توسعه سیستم یک فرآیند پیوسته است و مرزبندی‌های مشخص بین فازهای اصلی در نظر گرفته نمی‌شوند. مزیت حاصل، این خواهد بود که به عنوان مثال، تجزیه و تحلیل، یک فرآیند مستمر و پیوسته است و شناسایی کلاس‌ها فقط محدود به فاز تجزیه و تحلیل نیست.
می‌توان کلاس‌ها را اواخر فاز تجزیه و تحلیل یا حتی اوایل فاز طراحی، شناسایی کرد همچنین، در جایی که نیاز باشد، می‌توان در هر لحظه به فاز قبلی برگشت. در نقطه مقابل این رویکرد، تفکر سنتی وجود دارد که در آن فرآیند تولید نرم‌افزار، فرآیندی مشتق شده از فرآیند از بالا به پایین [4] با مرزبندی خیلی پررنگ و واضح بین فازهای معین فرآیند است. فازهای SDLC در برنامه‌نویسی سنتی را نمی‌توان مانند فازهای SDLC در برنامه‌نویسی شی‌گرا، به سه فاز اصلی با قابلیت ترکیب با یکدیگر در نظر گرفت. هر فاز SDLC در برنامه‌نویسی سنتی ، قبل از شروع فاز بعدی کاملاً تکمیل می‌شود. هر فاز، تکرار مربوط به خود را دارد و می‌توان یک فاز را تا نقطه تکمیل کلی آن مورد بازنگری قرار داد. مجموعه‌ای از موارد قابل تحویل در هر فاز، که مختص همان فاز است، بر تکمیل یک فاز مشخص دلالت می‌کند. نکته قابل توجه دیگر این است که یک تفاوت فاحش بین مدل‌های تجزیه و تحلیل و طراحی وجود دارد. به این صورت که مدل تجزیه و تحلیل نیازمند "ترجمه" به مدل طراحی است. مزیت عمده SDLC رویکرد شی‌گرا در این است که مدل تجزیه و تحلیل در نهایت از طریق یک فرآیند پالایش تبدیل به مدل طراحی می‌شود. طی فرآیند برنامه‌نویسی شی‌گرا، از یک فرهنگ لغات سازگار استفاده می‌شود. در این روش یک تابع (متد) شی‌گرا ، از آنجایی که واقعاً یک تابع نمونه اولیه [5] است، تبدیل به یک مدل "نمونه اولیه" می‌شود. همچنین می‌توان مفاهیم تجزیه و تحلیل و طراحی شی‌گرا را به طور موفقیت آمیزی در تجزیه و تحلیل مسائل تجاری به کار برد. تجزیه و تحلیل مسائل تجاری یک فعالیت فراموش شده در اکثر روش‌های سنتی توسعه سیستم است، زیرا در روش‌های سنتی، مکانیزم انجام یک تجزیه و تحلیل کامل برای مسائل تجاری تدارک دیده نشده است. از طرف دیگر روش‌های شی‌گرا دارای تکنیک‌ها و ابزارهایی است که می‌توان در تجزیه و تحلیل تجاری یک سازمان از آن استفاده کرد. بسیاری از روش‌های شی‌گرایی که به تازگی ابداع شده است شامل یک مدل تجزیه و تحلیل تجاری برای مدل کردن ساختار سازمان و فرآیندها و گردش کارهای آن است. ابزار نمونه‌ای که می‌توان از آن در مدل‌سازی تجاری استفاده کرد Use-Case است. با استفاده از Use-Case ها می‌توان فرآیندهای تجاری و نیازمندی‌های کاربران را تا هر سطح دلخواهی از جزئیات مدل کرد. از این‌رو مدل Use-Case

1- Software Development Life Cycle (SDLC)
2- Iteration
3- Incremental Development
4- Top- Down
5- Prototype

را می‌توان از مرحله تجزیه و تحلیل صورت مساله تا مرحله پیاده سازی آن به کار برد.

پایین‌ترین سطح Use-Case ها در روش‌های شی‌گرا یادآور ماژول‌ها[1] در نمودارهای ساختاری[2] هستند که می‌توان مستقیماً آنها را به عنوان توابع (متدها) در یک زبان برنامه‌نویسی پیاده سازی کرد. دیاگرام فعالیت[3] را نیز می‌توان برای مدل‌سازی بیشتر مساله و پالایش فعالیت‌های یک فرآیند تجاری و گردش کارهای آن به کار برد. رویکرد شی‌گرا طی فرآیند تجزیه و تحلیل، اشیاء و فرآیندهایی را که در برنامه‌نویسی حائز اهمیت است بررسی و انتخاب می‌کند. سپس اشیاء و فرآیندها، پالایش شده و بیش از پیش معنی می‌شوند تا جایی که طراحی اولیه شکل بگیرد. تجزیه و تحلیل و طراحی شی‌گرا هم داده‌ها و هم فرآیندها را با هم بسته‌بندی[4] می‌کند، در حالی که روش‌های سنتی اغلب فقط فرآیند مدار[5] یا داده مدار[6] هستند. در تولید نرم‌افزار به روش شی‌گرا، داده‌ها و فرآیندها در مراحل اولیه فاز تجزیه و تحلیل تعریف می‌شود. در روش‌های سنتی، نمودهای رفتاری سیستم که شامل رویدادها[7] و ارسال پیام‌ها بین موجودیت‌ها[8] یا کلاس‌ها است، نسبت به مدل داده‌ها و فرآیندها در درجه دوم اهمیت قرار دارند. برای روش‌های شی‌گرا، مدل رفتاری سیستم به اندازه مدل کلاس وUse–Case اهمیت دارد. طراحی شی‌گرا، صراحتاً با استفاده از اشیا سرویس[9] که قادر به پشتیبانی از برنامه‌های کاربردی پردازش دسته‌ای[10]، تعاملی[11] یا زمان آنی[12] و با هر تعداد کاربر هستند، ساختار کنترلی برنامه را مورد خطاب قرار می‌دهد. همچنین از طریق طرح لایه دسترسی[13] محاسبات توزیع شده را نیز می‌توان انجام داد. روش‌های برنامه‌نویسی سنتی مقوله‌های برنامه‌های سرویس گیرنده / سرویس دهنده[14] یا برنامه‌های توزیع شده را مورد خطاب قرار نمی‌دهند.

۵- فازهایی که در آنها اطلاعات شناخته می‌شوند

این قسمت از چارچوب مقایسه کننده به ارزیابی فازهایی می‌پردازد که در آنها اطلاعات مورد نیاز برنامه نویسی از طریق طبقه‌بندی داده‌ها، پردازش‌ها، روابط و ماژول‌های اطلاعاتی در سطوح مختلف جزئیات شناخته می‌شود. در برنامه‌نویسی سنتی، داده‌ها و پردازش‌ها در اوایل کار تجزیه و تحلیل می‌شود. اکثر موجودیت‌ها و پردازش‌ها را می‌توان در همان ابتدای فاز طراحی سیستم شناسایی کرد. کاری که در سیستم‌های اطلاعاتی[15] انجام می‌شود. در برنامه‌نویسی شی‌گرا، اشیاء، صفات[16] ، امضای توابع[17] و رفتار آنها در فاز تجزیه و تحلیل تعریف می‌شود. تمام این عناصر از طریق توسعه تکرار شونده و تدریجی[18] سیستم و در فاز طراحی پالایش می‌شود. اشیایی که در فاز تجزیه و تحلیل شناسایی نشده است را می‌توان در ابتدای فاز طراحی، شناسایی و تعریف کرد. از نقطه‌نظر مسائل مربوط به زمان‌بندی، زمان وقوع رویدادها و بازهٔ وقوع رویدادها با جزئیات بیشتری در فاز طراحی شی‌گرا تعریف می‌شود. در جدول (۱) فازهایی که در آنها اطلاعات و عناصر مختلف برنامه‌نویسی شی‌گرا و برنامه‌نویسی سنتی تعریف می‌شود به طور خلاصه ذکر شده است.

۶- قابلیت‌های کلی

دراین بخش مقایسه متدلوژی‌های سنتی و شی‌گرا با توجه به تعدادی از قابلیت‌های عمومی آنها که بعداً در این بخش روشن خواهند شد صورت می‌گیرد برنامه‌نویسی سیستم‌ها به روش سنتی با مجزا کردن داده‌ها و پردازش (توابع) بر روی برنامه‌نویسی ساختار یافته[19] متمرکز می‌شود هنگامی که یک سیستم با دنبال کردن رویکرد سنتی پیاده سازی می‌شود دو روش وجود دارد که توسط آنها یک پردازش (تابع) می‌تواند

1- Modules
2- Structure Charts
3- Activity Diagram
4- Encapsulate
5- Process – Oriented
6- Data – Oriented
7- Events
8- Entities
9- Service Objects
10- Batch
11- Interactive
12- Real – Time
13- Access Layer
14- Client/Server
15- Information Systems
16- Attributes
17- Operations
18- Iterative and Incremental Development
19- Structured

جدول (۱): مقایسه فازهایی که در آنها اطلاعات شناخته می‌شود

اطلاعات برنامه‌نویسی یا عنصر برنامه‌نویسی	برنامه نویسی سنتی	برنامه‌نویسی شی‌گرا
موجودیت‌ها / اشیاء	تحلیل امکان سنجی – شروع طراحی – تکمیل OR شروع در برنامه‌ریزی سیستم‌های اطلاعاتی (ISP) و تکمیل در زمان تحلیل	تحلیل – ممکن است در زمان تکرار بازنگری شود
صفات موجودیت (Entity attributes)	تحلیل امکان سنجی – شروع طراحی – تکمیل	تحلیل طراحی – تکمیل
کلاس موجودیت / ساختار شی	طراحی	تحلیل ، در زمان طراحی در معرض تغییرات
ارتباطات داده‌ها (Data relationships)	تحلیل	تحلیل
نیازمند صفات مشخص برای سیستم عامل، DBMS یا نرم‌افزار	طراحی – نیازمند دانش (Knowledge) از جانب طراحان نه به عنوان بخشی از متدلوژی	طراحی – دانش (Knowledge) بخشی از متدلوژی است.
طراحی فیزیکی داده‌ها متدها / فرآیندهای کلی	طراحی و برنامه نویسی	طراحی و نمونه‌سازی اولیه (prototyping)
	تحلیل امکان سنجی – شروع طراحی – تکمیل OR شروع در زمان ISP و تکمیل در زمان تحلیل	تحلیل
منطق فرآیند به طور جزئی (Detail Process Logic)	فرآیندها : شروع – تحلیل امکان سنجی و تکمیل تحلیل داده‌ها : شروع – تحلیل و تکمیل طراحی	شروع – تحلیل ،تکمیل – طراحی
ارتباط داده‌ها با متدها / فرآیندها	فرآیندها – طراحی داده‌ها – شروع در تحلیل و تکمیل در طراحی غایب برای فرآیندها (absent for processes)	زمان‌بندی فرآیند در تحلیل تعریف می‌شود Event/triggers در طراحی تعریف می‌شود
رویدادها و آغاز گرها	غایب برای فرآیندها	طراحی
ساختار ماژول	داده‌ها : طراحی طراحی	طراحی
مشخصات ماژول	طراحی	طراحی

آغاز شود. یک روش، در نظر گرفتن فقط متغیرهای محلی[1] و سراسری[2]، پارامترها، ساختارهای داده‌ای پویا[3]، فایل‌ها و غیره است.

روش دیگر شروع پردازش، در نظر گرفتن اعمالی است که باید بر روی داده‌ها انجام شود، یعنی رویه‌ها[4] و توابع[5]. از این‌رو تکنیک‌های برنامه‌نویسی سیستم‌ها به روش سنتی، که به عنوان تکنیک‌های برنامه‌نویسی ساختار یافته نیز شناخته می‌شود، ضرورتاً به دو گروه با اسامی زیر تقسیم می‌شوند :

- روش‌های پردازش مدار یا عمل مدار[6]
- روش‌های داده مدار

روش‌های پردازش مدار، تکنیک‌هایی دارند که در ابتدا توابع برنامه[7] یا محصول را در نظر می‌گیرند، در حالی که در این تکنیک‌ها داده‌ها در درجه دوم اهمیت قرار دارند و فقط پس از این که توابع محصول مورد تجزیه و تحلیل عمیق قرار گرفت در نظر گرفته می‌شوند. روش های داده مدار دارای تکنیک‌هایی برای تاکید و تمرکز بر روی داده‌های محصول هستند و توابع فقط در چارچوب داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. یکی از نقاط ضعف روش‌های سنتی در این است که داده‌ها و پردازش‌ها به طور جداگانه بررسی می‌شوند. به عنوان مثال یک قلم داده[8] نمی‌تواند تغییر کند

1- Local
2- Global
3- Dynamic
4- Procedures
5- Functions
6- Action – Oriented
7- Application
8- Data Item

مگر اینکه عملی بر روی آن صورت گیرد و متقابلاً اعمال بدون داده‌های وابسته به آنها نیز بی معنی هستند. ایده‌آل این است که بررسی داده‌ها و پردازش‌ها به طور مساوی انجام شود. در حقیقت این مساله یکی از مهمترین نقاط قوتی است که توسط روش‌های شی‌گرا ارائه می‌شود. به خاطر داشته باشید که یک شی[1] هم شامل داده‌ها و هم شامل پردازش‌ها است که دارای اهمیت یکسانی می‌باشد و هیچ کدام (داده یا پردازش) بر دیگری ارجحیت ندارد، اما در برنامه‌نویسی شی‌گرا داده‌ها و پردازش‌ها هم‌زمان در نظر گرفته نمی‌شوند. مراحلی وجود دارد که بر داده‌ها تاکید می‌شود و توجه کمتری به پردازش‌ها می‌شود و برعکس. طبیعت توسعه تدریجی و تکرارپذیری برنامه‌نویسی شی‌گرا از این دیدگاه پشتیبانی می‌کند. به نظر می‌رسد که روش‌های شی‌گرا بیشتر برای برنامه‌های زمان آنی[2]، سرویس گیرنده / سرویس دهنده و برنامه‌های مبتنی بر web[3] مناسب هستند. در حالی که روش‌های سنتی برای برنامه‌نویسی سیستم‌های تجاری مناسب می‌باشند. دلیل این امر در این است که روش‌های سنتی در زمان مناسب خود در دسترس بودند و تلاش‌های اولیه تولید نرم افزار با استفاده از این رویکرد بوده است. حتی امروزه نیز در سطح گسترده از رویکرد برنامه‌نویسی سنتی استفاده می‌شود. اگرچه نوع برنامه‌های تجاری به سرعت در حال تغییر است، زیرا برنامه‌های تجاری به واسط‌های کاربر[4] پیچیده وابسته می‌شوند و نیاز به تعامل بیشتر کاربر با نرم‌افزار در این گونه برنامه‌ها وجود دارد. طبیعت مبتنی بر رویداد[5] این سیستم‌ها نیازمند ابزارهای مدل سازی روش های شی‌گرایی است تا تعامل بین کاربر و کامپیوتر را مدل کنند. جنبه دیگری از تولید نرم افزار که قابل توجه است، تقاضا برای تولید نرم افزارهای مبتنی بر جزء[6] برای محیط‌های سرویس دهنده / سرویس گیرنده است. روش‌ها و تکنیک‌های شی‌گرا برای تولید این نوع از سیستم بسیار مناسب است.

۷- پشتیبانی از اصول مهندسی نرم‌افزار

در این بخش به مقایسه روش‌های سنتی و شی‌گرای تولید نرم‌افزار با توجه به توانایی آنها در ارائه راهنمایی برای برنامه‌نویسی ماژول‌ها، برنامه‌ها و application های پیچیده که نمایش دهنده اصول مهندسی نرم‌افزار در قابلیت‌هایی از قبیل استفاده مجدد[7]، قطعه قطعه کردن[8]، پنهان سازی اطلاعات[9]، حداکثر انسجام[10] و کمترین ارتباط[11] است، می‌پردازیم. هر دو رویکرد سنتی و شی‌گرا می‌توانند در تولید ماژول‌های با قابلیت‌های ذکر شده مفید باشند. این مسائل مربوط به حد و اندازه‌ای است که در آن متدلوژی‌ها به طور صریح خط مشی و روش‌های کشف تعیین اعتبار نرم‌افزار را برای انجام طراحی‌هایی که خصوصیات فوق الذکر را به نمایش می‌گذارند، مهیا می‌سازد. روش‌های سنتی از پنهان سازی اطلاعات[12] پشتیبانی نمی‌کنند، در حالی که روش‌های شی‌گرا از این اصل، از فاز تجزیه و تحلیل تا فاز طراحی، پشتیبانی می‌نمایند.

1- Object
2- Real – Time
3- Web – Based
4- User Interfaces
5- Event– Driven
6- Component–Based
7- Reusability
8- Modularization
9- Information Hiding
10- Maximum Cohesion
11- Minimal Coupling
12- Information Hiding

در روش‌های سنتی حدی که میتوان قطعه قطعه کردن را انجام داد، بستگی به مهارت تحلیل گران و برنامه نویسان سیستم دارد. از طرف دیگر، روش‌های شی‌گرا، قطعه قطعه کردن را با استفاده از کلاس پیاده سازی انجام می‌دهند. یکی از دلایل برتری مدل شی‌گرا نسبت به مدل سنتی این است که در مدل شی‌گرا، یک موجودیت فیزیکی که از آن به عنوان شی نام برده می‌شود، می‌تواند در صورتی که خوب طراحی شده باشد، اصول مهندسی نرم‌افزار را از منظر انسجام زیاد[1] شی و ارتباط کم[2] شی با اشیاء دیگر عینیت بخشد.

بسته‌ای کردن[3] اشیاء و فرآیندها از همان ابتدای کار تجزیه و تحلیل نرم‌افزار، به طور خودکار خاصیت انسجام را در آن می‌گنجاند. اشیاء، ذاتاً واحدهایی مستقل با واسط‌های[4] خوب طراحی شده هستند که از طریق این واسط‌ها ارتباط بین اشیاء صورت می‌گیرد. رویکرد شی‌گرا، تنها با اتکا به برقراری ارتباط بین اشیاء از طریق کمترین استفاده ممکن از پیغام‌ها، به طور خودکار حداقل ارتباط و پنهان سازی اطلاعات را فراهم می‌کند. به علت وجود این مزایا در رویکرد شی‌گرا، میتوان اشیاء را به سهولت و به طور ایمن و مطمئن نگهداری نمود. به علاوه، اشیاء قابلیت استفاده مجدد دارند و این قابلیت استفاده مجدد توسط خاصیت ارث‌بری[5] افزایش می یابد. ساخت یک محصول نرم‌افزاری با مقیاس بزرگ، با رویکرد شی گرا و توسط الحاق اشیاء به یکدیگر، ایمن‌تر از تولید همان محصول با رویکرد سنتی است. از آن جایی که اشیاء واحدهایی مستقل هستند، تولید محصول و همین طور مدیریت تولید محصول آسان‌تر و احتمال بروز اشکالات در آن کمتر است.

ویژگی ارث بری روش‌های شی‌گرا راهی مفید برای مدیریت پیچیدگی یک مساله است. پیچیدگی، مسأله‌ای است که از چندین منبع مختلف ناشی می‌شود. این منابع عبارتند از : مدیریت تعداد عناصر موجود در برنامه (ماژول‌ها، پردازش‌ها و موجودیت‌ها یااشیاء)، درجه و انواع تعامل‌ها و نیاز به پشتیبانی از مسائل تازه و مبهم. طراحی شی‌گرا، پیچیدگی را از طریق به حداقل رساندن تکرار داده‌ها و پردازش‌ها و توسط تخصیص پردازش‌ها به سخت‌افزار، نرم‌افزار، سیستم مدیریت پایگاه اطلاعات[6] و واسط کاربر به حداقل می‌رساند. یکی از مواردی که می‌توان به عنوان یک محدودیت در روش‌های شی‌گرا در نظر گرفت، این است که راهنمایی برای طراحی پایگاه اطلاعات ارائه نمی‌کنند. اگرچه طراحی خوب کلاس‌ها می‌تواند طراحی مدل پایگاه اطلاعات را تسهیل کند، تعداد زیادی از اهالی فن از نبود فعالیت‌های ابتدا- انتها در چرخه حیات تولید نرم‌افزار[7] شکایت دارند. اگرچه تجزیه و تحلیل با استفاده از Use – Case را می‌توان به طور موفقیت آمیز برای تجزیه و تحلیل اشیاء مساله به کار برد، سیستم‌هایی که با استفاده از روش‌های سنتی تجزیه و تحلیل می‌شوند را تقریباً می‌توان با کلیه زبانهای برنامه‌نویسی پیاده سازی کرد.

1- High Cohesion
2- Low Coupling
3- Encapsulation
4- Interfaces
5- Inheritance
6- Data Base Management System (DBMS)
7- Front – End SDLC

در حالی که سیستم‌هایی که با رویکرد شی‌گرا تجزیه و تحلیل می‌شوند را برای بهره‌برداری حداکثر از مزایای مدل‌سازی شی‌گرا، باید با زبانهای برنامه‌نویسی شی‌گرا، پیاده سازی کرد. جدول (۲)، روش‌های مربوط به پشتیبانی از اصول مهندسی نرم‌افزار را به طور خلاصه بیان می‌کند.

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله، به طور خلاصه تفاوت‌های عمده بین رویکردهای شی‌گرا و سنتی در تولید یک محصول نرم‌افزاری مورد بررسی قرار گرفت. ممکن است بر اساس تجربه و سابقه، زمینه فعالیت خود بتوانید تفاوت‌های دیگری را نیز به موارد بیان شده بیافزایید.

طی سالهای گذشته، روش‌های تولید نرم‌افزار برای همگام بودن با پیشرفت‌های تکنولوژی اطلاعات (IT) و به خصوص برای استفاده در کامپیوترها و برنامه‌ها تکامل و توسعه یافته‌اند. هر برنامه و محیط عملیاتی یکتا و منحصر به فرد آن، نیازمند یک رویکرد خاص برای تولید نرم‌افزار است. کار یک مهندس نرم‌افزار،کار ساده‌ای نیست، زیرا او باید بهترین رویکرد تولید نرم افزار را توصیه کند و به کار ببندد. چیزی که قطعاً حقیقت دارد این است که روش‌های شی‌گرا نمی‌توانستند بدون روش‌های سنتی، تکامل و توسعه یابند. روش‌های سنتی و محدودیت‌ها و نقاط ضعف آنها پایه‌ای را ایجاد کرده‌اند که روش‌های شی‌گرا با استفاده از آن توسعه می‌یابند.

پیشرفت حاصل در توسعه زبانهای برنامه‌نویسی شی‌گرا، در توسعه روش‌های شی‌گرا نیز مشارکت داشته است. روش‌های شی‌گرا، همچنان در حال تکامل هستند و شاید برای ماندن آمده‌اند، فقط زمان در این مورد قضاوت خواهد کرد. آنچه که روش‌های شی گرا القاء کرده‌اند، قطعاً روشی متفاوت در طراحی، تولید و نگهداری کل فرآیند تولید یک محصول نرم‌افزاری است.

جدول (۲): مقایسه اصول مهندسی نرم افزار در تولید نرم افزار با روش‌های شی گرا و سنتی

اصول مهندسی نرم‌افزار	برنامه‌نویسی سنتی	برنامه‌نویسی شی‌گرا
میزان پنهان سازی اطلاعات	غیر قابل اجرا	هنگام تحلیل شروع و در طول طراحی به پایان می‌رسد.
میزان قطعه قطعه کردن	بستگی به مهارت تحلیل‌گر یا برنامه‌نویس دارد.	با طراحی کلاس تقویت می‌شود. بستگی به زبان پیاده‌سازی دارد.
میزان حداکثر انسجام	بستگی به مهارت تحلیل‌گر یا برنامه‌نویس دارد.	هنگام تحلیل شروع و هنگام طراحی به پایان می‌رسد.
میزان حداقل ارتباط	بستگی به مهارت تحلیل‌گر یا برنامه‌نویس دارد.	به وسیله متدلوژی تقویت می‌شود اما ممکن است از طریق مهندسی نرم‌افزار (SE) کنترل شود.
پشتیبانی برای قابلیت استفاده مجدد از طراحی شی	غیرممکن	ارائه خط مشی‌هایی برای تعیین اشیاء با قابلیت استفاده مجدد
پشتیبانی برای استفاده از ماژول / شی استفاده شده	بلی	ارائه خط مشی‌هایی برای تعیین شی با قابلیت استفاده مجدد
میزان قابلیت استفاده مجدد	بستگی به مهارت تحلیل‌گر یا برنامه‌نویس دارد	می‌تواند به اندازه ۸۰ درصد باشد، مستقل از سازمان است.

۹- مراجع

1- Bahrami, A., Object Oriented Systems Developing Using the Unified Modeling Language, McGraw Hill, Toronto, 1992.

2- Conger sue, The New Software Engineering, wadssworth ublishing Co., USA , 1994

3- Olle, T.Willam, Jacques Haqelstein, Ian McDonald , Colette Roland , Henk G.sol , Frans J.M Van Assche and Alexander A.verrign –Stuart, Information for Understanding, Wokingham England: Addisson – Wesley Publishing Company, 1988.

4- Schach, S.R, Classical and Object Oriented Software Engineering with UML and C++, forth edition, Boston, 1999.

5- Whitton, JL and L.D Bentley, Systems Analysis and Design Methods, McGraw – Hill, forth edition, Boston, 1988.

آقای پیمان برازنده دارای مدرک لیسانس مهندسی برق (قدرت) از دانشگاه خواجه نصیر طوسی می‌باشد. ایشان ۹ سال تجربه کاری دارد که تماماً در قدس نیرو بوده است. زمینه علاقمندی آقای برازنده مهندسی نرم افزار و IT می‌باشد.

Pbarazandeh@ghods-niroo.com

آقای نادر وطندوست دارای مدرک لیسانس مترجمی زبان انگلیسی از دانشگاه آزاد اسلامی (واحد تهران) می‌باشد. سابقه کاری آقای وطندوست ۱۶ سال و تماماً در قدس نیرو است. علاقمندی ایشان در زمینه ترجمه متون علمی می‌باشد.

Nvatandoost@ghods-niroo.com

سیستمهای تولید همزمان حرارت و الکتریسیته

علیرضا شفیعی ده آباد

کارشناس ارشد مکانیک- مدیریت ارشد مهندسی نیروگاههای بخار و انرژیهای نو

چکیده:

در این مقاله سعی شده است سیستمهای تولید همزمان حرارت و الکتریسیته بطور اجمالی معرفی شود. ابتدا مختصر توضیحی در خصوص اختلاف ارزش انرژیهای گوناگون، بویژه انرژیهای مکانیکی/ الکتریکی و حرارتی ارائه می‌گردد. سپس به معرفی، ذکر تاریخچه و برشمردن مزایای این سیستمها پرداخته خواهد شد. در ادامه، مباحث بازده و صرفه جویی سوخت در این سیستمها با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار خواهند گرفت. پس از آن به دسته بندی این سیستمها از نقطه نظر تقدم تولید انرژی و ذکر فن آوریهای گوناگون آن خواهیم پرداخت. لزوم انجام یک امکان سنجی قبل از اتخاذ هرگونه تصمیم در استفاده از این سیستمها و همچنین ضرورت (و نحوه) ارزیابی فن آوریهای مختلف قبل از انتخاب سیستم، مطالبی است که در ادامه خواهد آمد. قابل ذکر است که پروژه‌ای تحت عنوان ***"مکانیابی نصب بویلرهای بازیافت حرارت در نیروگاههای گازی کشور"*** *جهت استفاده از سیستمهای تولید همزمان حرارت و الکتریسیته در مدیریت ارشد نیروگاههای بخار و انرژیهای نو در سال ۸۵ انجام شده و تجربه مهندسی و آمادگی جهت اجرای این نوع پروژه‌ها در قدس نیرو وجود دارد.*

۱- مقدمه

اشکال مختلف انرژی، بسته به توانایی آنها در انجام کار مفید، از ارزشهای متفاوتی برخوردار هستند. انرژیهای الکتریکی و مکانیکی علاوه برآنکه آسان تر قابل استفاده می‌باشند، نسبت به انرژی حرارتی، قابلیت تولید کار با بازده بیشتری را دارند. بنابراین می‌توان گفت یک واحد انرژی الکتریکی و یا مکانیکی نسبت به یک واحد انرژی حرارتی دارای ارزش بیشتری است. بعلاوه یک واحد انرژی حرارتی با دمای بالا، با ارزش تر از یک واحد انرژی حرارتی با دمای پایین است، چرا که می‌توانند با کارایی بیشتری به انرژی مکانیکی یا الکتریکی تبدیل شود.

با اینهمه انرژیهای مکانیکی و الکتریکی می‌بایست از دیگر منابع انرژی تهیه شوند. در مقیاسی گسترده و متداول، این انرژیها از تبدیل انرژی حرارتی حاصل از سوختهای فسیلی تأمین می‌گردند. بازده نسبتاً پایین تبدیل انرژی حرارتی به انرژی مکانیکی و یا الکتریکی، خود دلیلی براین مدعا است که انرژیهای مکانیکی و الکتریکی بسیار با ارزش تر از انرژی حرارتی می‌باشند.

یک استفاده بهینه و کارآمد از سوخت، هنگامی است که سوخت در درجه حرارت بالایی سوزانده شده، انرژی حرارتی با دمای بالا در یک توربین گازی، موتور احتراق داخلی و یا توربین بخار تبدیل به انرژی مکانیکی (و یا

الکتریکی) شده و انرژی حرارتی با دمای پایین‌تر خروجی از این تجهیزات، در فرآیندهای صنعتی و یا دیگر مصارف حرارتی مورد استفاده قرار گیرد.

چنانچه انرژی حرارتی خروجی از این تجهیزات مورد استفاده قرار نگرفته و به اتمسفر رها گردد، سیستم تبدیل انرژی، یک سیکل ساده نامیده می‌شود. لیکن چنانچه حرارت خروجی بازیافت شده و برای دیگر مصارف مورد استفاده قرار گیرد، مجموعه تجهیزات تولید انرژی مکانیکی / الکتریکی و بازیافت حرارت بر روی هم، به عنوان یک سیستم تولید همزمان (و در مواردی سیکل ترکیبی) شناخته می‌شود.

۲- تولید همزمان، معرفی و تاریخچه

تولید همزمان[1] عبارتست از تولید به دنبال هم (از نظر ترمودینامیکی) دو یا چند شکل مفید انرژی از یک منبع اولیه واحد. انرژیهای مکانیکی و حرارتی دو شکل متداول انرژی تولیدی در اینگونه سیستمها می‌باشند. از آنجایی که انرژی مکانیکی اغلب برای بحرکت درآوردن مولد برق (ژنراتور) و تولید الکتریسیته به کار می‌رود، اکثراً تولید همزمان به عنوان تولید توأمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی مفید[2]، از یک منبع انرژی اولیه واحد، تعریف شده است.

انرژی مکانیکی می‌تواند جهت به حرکت درآوردن تجهیزاتی نظیر کمپرسورها و پمپ‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد. انرژی حرارتی تولیدی نیز علاوه بر قابلیت بکارگیری در گرمایش و یا سرمایش اماکن (با استفاده از سیستمهای جذبی)، می‌تواند در فرآیندهای صنعتی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

تولید همزمان ابتدا در اواخر دهه ۱۸۸۰ میلادی در اروپا و امریکا مطرح گردید. در اوایل قرن بیستم اکثر واحدهای صنعتی، الکتریسیته مورد نیاز خود را با استفاده از بویلرهای باسوخت ذغال سنگ و توربین بخار و مولد برق تولید می‌کردند. بسیاری از واحدها از بخار خروجی توربین برای رفع نیاز فرآیندهای صنعتی استفاده می‌کردند. طبق برآوردهای بعمل آمده، در اوایل دهه ۱۹۰۰، حدود ۸۵ درصد از کل توان الکتریکی تولید شده توسط واحدهای صنعتی بصورت تولید همزمان بوده است. با متمرکز شدن واحدهای تولید برق (نیروگاهها) واحداث شبکه‌های سراسری انتقال و توزیع برق، قیمت الکتریسیته کاهش یافت و بسیاری از واحدهای صنعتی اقدام به خرید الکتریسیته و توقف تولید خود نمودند. بطوریکه ظرفیت تولید واحدهای تولید همزمان صنایع در سال ۱۹۵۰ به ۱۵ درصد و در سال ۱۹۷۴ به نزدیک ۵ درصد رسید. [۱]

از سال ۱۹۷۳ به علت افزایش بهای سوخت و بروز بحران انرژی، این سیر نزولی تغییر جهت داده، تمایل به استفاده از تولید همزمان رو به افزایش نهاد. از آن زمان تاکنون کارهای تحقیقاتی و اجرایی بسیاری در زمینه توسعه و اصلاح فن آوریهای تولید همزمان صورت گرفته که منجر به بهبود بازده و قابلیت اعتماد فن آوریهای متداول و معرفی و توسعه فن آوریهای جدید گردیده است. مزیت اصلی یک سیستم تولید همزمان در مقایسه با سیستمهای مجزای تولید انرژی متداول نظیر نیروگاههای برق (که تنها الکتریسته تولید می‌کنند) و بویلرهای

1- Cogeneration
2- Combined Heat & Power (CHP)

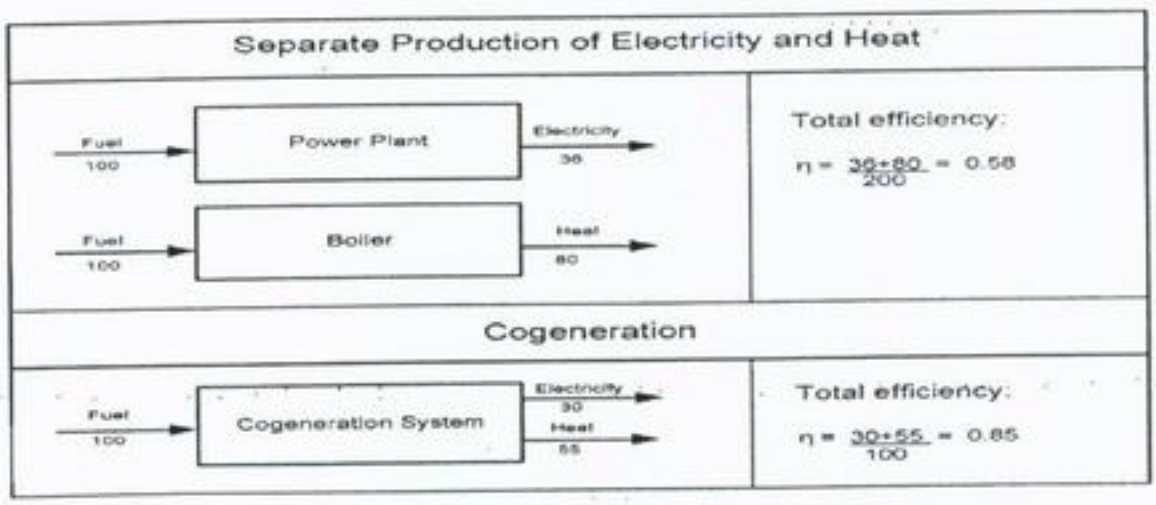
صنعتی (که صرفاً جهت تولید بخار و یا آب داغ مورد نیاز فرآیندهای صنعتی بکار می‌روند)، توانایی آنها در استحصال هرچه بیشتر انرژی مفید از سوخت می‌باشد.

هنگام کارکرد یک نیروگاه برق معمولی، مقدار زیادی حرارت، چه از طریق مدارهای خنک کننده و چه از طریق دودکش به اتمسفر تخلیه می‌گردد. بیشتر این حرارت قابل بازیافت بوده و می‌تواند جهت تأمین مصارف حرارتی واحدهای صنعتی مورد استفاده قرار گیرد که این خود سبب افزایش بازده[1] واحد از ۳۰ تا ۵۰ درصد (مربوط به نیروگاه) به ۸۰ تا ۹۰ درصد (برای سیستم تولید همزمان) می‌گردد. شکل (۱) مقایسه‌ای بین سیستم تولید همزمان و سیستمهای مجزای تولید الکتریسیته و حرارت از نقطه نظر بازده تولید می‌باشد.

سیستمهای تولید همزمان با کاهش میزان مصرف سوخت، باعث کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها نیز می‌شوند. ضمن آنکه بکارگیری سیستمهای تولید همزمان توسط واحدهای صنعتی، موجب کاهش و یا قطع وابستگی آنها به شبکه سراسری برق می‌گردد. در برخی از فرآیندهای صنعتی قطع برق، حتی برای مدت زمانی اندک، نامطلوب و زیان بار است.

۳- بازده سیستم های تولید همزمان

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، مزیت اصلی سیستمهای تولید همزمان، بازده نسبتاً بالای این سیستمها در مقایسه با دیگر سیستمهاست. بازده تبدیل انرژی، بنا به تعریف متداول، نسبت خروجی مطلوب سیستم تبدیل انرژی مورد نظر به ورودی آن است. هنگامی که ورودی سیستم انرژی شیمیایی سوخت باشد، بسته به آنکه ارزش حرارتی پایین (LHV)[2] و یا ارزش حرارتی بالای (HHV)[3] سوخت ملاک عمل قرار گیرد، مقادیر متفاوتی برای بازده بدست خواهد آمد.



شکل (۱): مقایسه بین سیستمهای تولید همزمان و سیستمهای مجزای تولید حرارت و الکتریسیته از نقطه نظر بازده کلی [۲]

1- Efficiency

۲- ارزش حرارتی پایین (Lower Heating Value)، بنابر تعریف میزان استاندارد شده انرژی حرارتی حاصل از احتراق یک سوخت ، بدون احتساب گرمای نهان تبخیر آب موجود در محصولات احتراق (یعنی با فرض اینکه ذرات آب موجود در محصولات احتراق بصورت بخار باشند) می‌باشد.

۳- ارزش حرارتی بالا (Higher Heating Value)، بنابر تعریف میزان استاندارد شده انرژی حرارتی حاصل از احتراق یک سوخت، با احتساب گرمای نهان تبخیر آب موجود در محصولات احتراق (یعنی با فرض اینکه ذرات آب موجود در محصولات احتراق بصورت مایع باشند) می‌باشد. برای گاز طبیعی ارزش حرارتی پایین ۱۰٪ کمتر از ارزش حرارتی بالاست.

در ایالات متحده امریکا ارزش حرارتی بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد در حالیکه در اروپا و بسیاری از دیگر نقاط جهان، از جمله در کشور ما، ارزش حرارتی پایین سوخت ملاک عمل می‌باشد. بنابراین برای اجتناب از هر گونه مغایرت و سوء تعبیر ضرورت دارد در اینگونه موارد ملاک تعیین انرژی سوخت (ارزش حرارتی بالا و یا پایین) بطور صریح و مشخص قید گردد.

بازده تولید الکتریسیته به تنهایی، مورد نسبتاً ساده‌ای است، چرا که انرژی الکتریکی تنها خروجی مطلوب و انرژی سوخت، انرژی ورودی سیستم می‌باشد، بنابراین:

$$\eta_e = \frac{P}{F} = \frac{P}{\dot{m}_f (LHV)_f} \qquad (۱)$$

که در آن:

η_e : بازده الکتریکی سیستم؛

P : توان الکتریکی خروجی؛

F : فلوی انرژی سوخت مصرفی و

$\dot{m}_f$: شدت جریان سوخت مصرفی است.

در یک سیستم تولید همزمان، دو خروجی مطلوب الکتریسیته و حرارت وجود دارد. بنابراین بازده کلی[1] سیستم را می‌توان بطور ساده بصورت زیر نوشت:

$$\eta = \frac{P+Q}{F} = \eta_e + \eta_{th} \qquad (۲)$$

که در آن:

η : بازده کلی سیستم تولید همزمان؛

η_{th} : بازده حرارتی سیستم و

Q : توان حرارتی (فلوی انرژی حرارتی) خروجی مفید می‌باشد.

در این تعریف ارزش انرژیهای الکتریکی و حرارتی یکسان در نظر گرفته شده است، در حالیکه این می‌تواند صحیح نباشد.

همانطور که در مقدمه نیز ذکر شد، انرژی الکتریکی به سبب سهولت استفاده و تبدیل به انواع دیگر انرژی و قابلیت انتقال به مسافتهای دور، نسبت به انرژی حرارتی بسیار ارزشمندتر است (هرچند که در مواردی نیز ممکن است انرژی حرارتی ارزشمندتر از انرژی الکتریکی جلوه کند). همچنین با کاهش درجه حرارت، ارزش انرژی حرارتی نیز کاهش خواهد یافت. بعنوان مثال ارزش حرارت در شکل آب داغ کمتر از ارزش آن در شکل بخار می‌باشد. بنابراین نابجا نخواهد بود اگر گفته شود جمع کردن حرارت و الکتریسیته به گونه‌ای که در رابطه (۲) آمده است، چندان مناسب نمی‌باشد. گاهی از اوقات مقایسه سیستمها برمبنای بازده تبدیل انرژی می‌تواند گمراه کننده نیز باشد. برای بحساب آوردن این اختلاف ارزش انرژیهای تولیدی، کمیسیون تنظیم انرژی امریکا (FERC)[2]، در محاسبه استاندارد بازده برای سیستمهای تولید همزمان با تقدم تولید الکتریسیته، اثر انرژی حرارتی مفید را به نصف کاهش داد. طبق این تعریف: [۳و۴]

$$\eta_{FERC} = \frac{P + Q/2}{F} \qquad (۳)$$

که در آن:

η_{FERC}: استاندارد بازده طبق تعریف کمیسیون تنظیم انرژی امریکا می‌باشد.

بازده الکتریکی مؤثر[3] تعریف دیگری برای بازده سیستمهای تولید همزمان است که اختلاف ارزش انرژیهای الکتریکی و حرارتی را به نوعی ملحوظ می‌دارد. طبق تعریف، بازده الکتریکی مؤثر عبارتست از: [۳]

1- Overall Efficiency
2- Federal Energy Regulatory commission
3- Effective Electrical Efficiency

$$\eta_{ee} = \frac{P}{F_{CHP} - Q/\eta_{SHP}} \qquad (۴)$$

که در آن، η_{ee} بازده الکتریکی مؤثر و اندیس‌های CHP و SHP به ترتیب بیانگر سیستم تولید همزمان حرارت و الکتریسیته[1] و سیستمهای مجزای تولید حرارت و الکتریسیته[2] می‌باشند.

۴- میزان صرفه جویی در مصرف سوخت[3]

معیار مناسب دیگر در بررسی و مقایسه سیستمهای تولید همزمان حرارت و الکتریسیته با سیستم‌های مجزای تولید حرارت و الکتریسیته، میزان صرفه جویی در مصرف سوخت است. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، سیستمهای تولید همزمان، چنانچه بطور مناسبی انتخاب و طراحی گردند، به علت بالاتر بودن بازده کلی آنها، موجب صرفه جویی در مصرف سوخت می‌شوند.

میزان صرفه جویی در مصرف سوخت را می‌توان از رابطه (۵) محاسبه نمود:

$$S=\left[1-\frac{F_{CHP}}{F_{SHP}}\right]\times 100\% = \left[1-\frac{F_{CHP}}{\frac{P}{\eta_{e/SHP}}+\frac{Q}{\eta_{th/SHP}}}\right]\times 100\% \qquad (۵)$$

که در آن، S میزان صرفه جویی در مصرف سوخت برحسب درصد و $\eta_{e/SHP}$ و $\eta_{th/SHP}$ به ترتیب بازده‌های الکتریکی و حرارتی در تولید مجزا می‌باشند.

کمیسیون اروپا (در جولای ۲۰۰۲) در تعیین و معرفی «تولید همزمان با بازده بالا»[4] از معیاری به نام «صرفه جویی انرژی اولیه»[5] استفاده می‌نماید که به صورت رابطه (۶) تعریف می‌شود: [۵]

$$PES=\left[1-\frac{1}{\frac{\eta_{e/CHP}}{\eta_{e/ref}}+\frac{\eta_{th/CHP}}{\eta_{th/ref}}}\right]\times 100\% \qquad (۶)$$

که در آن، PES میزان صرفه جویی انرژی اولیه برحسب درصد، $\eta_{e/CHP}$ و $\eta_{th/CHP}$ به ترتیب بازده‌های الکتریکی و حرارتی در تولید همزمان و $\eta_{e/ref}$ و $\eta_{th/ref}$ به ترتیب بازده‌های الکتریکی و حرارتی مرجع در تولید مجزای حرارت و الکتریسیته می‌باشند. مقادیر مرجع برای بازده سیستم‌های گوناگون تولید مجزای حرارت و الکتریسیته در دستورالعمل مورخ ۲۰۰۲/۷/۲۲ کمیسیون اروپا ذکر شده است.

در واقع رابطه (۶) با تقسیم صورت و مخرج کسر داخل دو کروشه سمت راست رابطه (۵) بر F_{CHP} و استفاده از شرایط مرجع در تولید مجزای حرارت و الکتریسته به دست آمده است.

طبق تعریف کمیسیون اروپا از واحدهای تولید همزمان با بازده بالا، حداقل میزان صرفه جویی قابل قبول برای واحدهای جدید ۱۰٪، برای واحدهای موجود ۵٪ و برای واحدهای در مقیاس کوچک (با ظرفیت کمتر از ۱ مگاوات) بین صفر تا ۵٪ می‌باشد.

نکته دیگر اینکه، سیستمهای تولید همزمان به سبب قرارگیری نزدیک آنها به محل‌های مصرف (در مقایسه با نیروگاههای متمرکز)، موجب کاهش و یا حتی حذف افت‌های انرژی الکتریکی ناشی از شبکه انتقال و توزیع (که می‌تواند به ۸٪ تا ۱۰٪ انرژی الکتریکی منبع نیز برسد [۱]) شده، به این ترتیب نیز موجبات صرفه جویی در سوخت را فراهم می‌آورند.

۵- انواع سیستمهای تولید همزمان

سیستمهای تولید همزمان بسته به ترتیب (و یا اولویت) تولید انرژیهای مکانیکی/ الکتریکی و

1- Combined Heat & Power (CHP)
2- Separate Heat & Power (SHP)
3- Fuel Saving
4- High-Efficiency Cogeneration
5- Primary Energy Saving

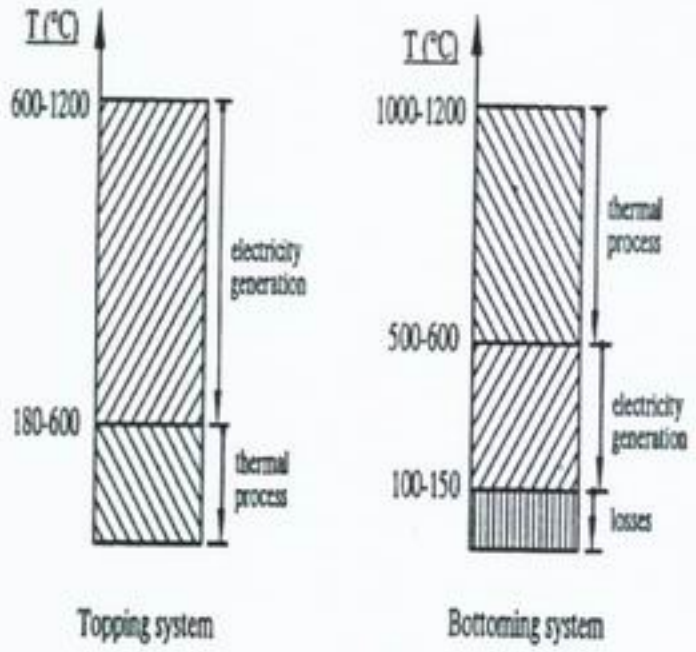
حرارتی به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

۱- سیستم‌های سیکل فوقانی[1] (سیستم‌های با تقدم تولید الکتریسیته) که در آنها انرژی سوخت ابتدا برای تولید الکتریسیته مورد استفاده قرار گرفته و سپس حرارت اتلافی محرک اولیه[2] بازیافت و برای مصارف حرارتی در فرآیندهای صنعتی و یا گرمایش (و یا سرمایش) اماکن به کار می‌رود.

۲- سیستم‌های سیکل تحتانی[3] (سیستم‌های با تقدم تولید حرارت) که در آنها ابتدا انرژی حرارتی با درجه حرارت بالا برای مصارف صنعتی نظیر کوره‌های گداخت فلزات و شیشه گری و یا کوره پخت سیمان تولید می‌گردد. سپس حرارت مازاد (اتلافی) فرآیندهای صنعتی برای بحرکت درآوردن توربین و تولید الکتریسیته به کار می‌رود.

سیستم‌های سیکل تحتانی معمولاً در مواردی به کار می‌رود که فرآیندی صنعتی دارای حرارت اتلافی با دمای بالا باشد. به همین سبب، در مقایسه با سیستم‌های سیکل فوقانی، این سیستمها کمتر متداول می‌باشند. شکل (۲) محدوده درجه حرارت برای سیستمهای تولید همزمان سیکل فوقانی و سیکل تحتانی را نشان می‌دهد. در این مختصر نیز عمدتاً سیستم‌های سیکل فوقانی مورد توجه قرار گرفته است.

در عین حال که سیستم‌های سیکل فوقانی و سیکل تحتانی، بیانگر دو نحوه آرایش فرآیندهای ترمودینامیکی اساسی در تکنولوژیهای تولید همزمان می‌باشند، امکان بکارگیری هر دو سیکل در یک سیستم برای تولید الکتریسته نیز وجود دارد. در این سیستم که به سیکل ترکیبی[4] موسوم است، الکتریسیته توسط دو مولد برق جداگانه، که یکی بخشی از سیستم فوقانی و دیگری بخشی از سیستم تحتانی است تولید می‌شود. چنانچه تجهیزات خنک کننده نظیر چیلرهای جذبی نیز به یک سیستم تولید همزمان اضافه گردد، مجموعه حاصل یک سیستم تولید سه گانه[5] نامیده می‌شود.



شکل (۲): محدوده درجه حرارت برای سیستمهای تولید همزمان سیکل فوقانی و سیکل تحتانی [۱]

۶- فن آوریهای تولید همزمان

در اغلب کاربردهای صنعتی، سیستم تولید همزمان (سیکل فوقانی) از سه مؤلفه اصلی تشکیل می‌گردد که عبارتند از: محرک اولیه، مولد برق (ژنراتور) و مبدل بازیافت حرارت.[6] سیستمهای تولید همزمانی که برای تأمین سرمایش به کار می‌روند، مجهز به تجهیزات خنک کننده (نظیر چیلرهای جذبی) نیز می‌باشند. نقش محرک اولیه بحرکت درآوردن مولد برق است. توربین‌های بخار، توربینهای گازی و موتورهای احتراق داخلی از انواع متداول محرک اولیه در مقیاسهای صنعتی می‌باشند.لیکن پیل‌های سوختی[7]، میکروتوربینها[8]، و موتورهای استرلینگ[9] نیز می‌توانند به عنوان محرک اولیه مورد استفاده قرار گیرند. بازیافت حرارت معمولاً در یک بویلر، مولد بخار بازیافت حرارت[10] و یا هر نوع مبدل حرارتی مناسب دیگر صورت می‌گیرد.

1- Topping- Cycle Systems
2- Prime Mover
3- Bottoming - Cycle Systems
4- Combined Cycle
5- Tri-generation

۶- این تقسیم بندی در سیستم‌های تولید همزمان با محرک اولیه پیل سوختی صادق نمی‌باشد. استفاده از عبارت " در اغلب کاربردهای صنعتی" نیز به همین سبب بوده است.

7- Fuel Cells
8- Micro-turbines
9- Stirling Engines
10- Heat Recovery Steam Generator (HRSG)

۶-۱- فن آوریهای تولید همزمان توسعه یافته

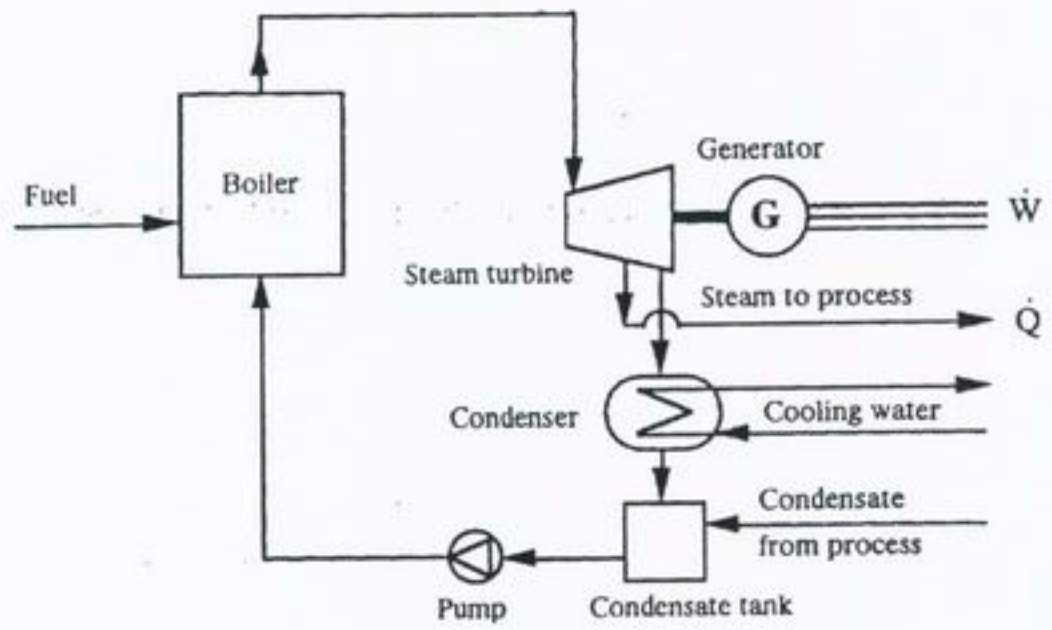
۶-۱-۱- سیستم تولید همزمان با محرک اولیه توربین بخار

توربینهای بخار طی سالیان دراز بعنوان محرک اولیه در سیستمهای تولید همزمان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این سیستم که براساس سیکل ترمودینامیکی رانکین [1] عمل می‌کند، بخار با درجه حرارت و فشار بالای تولید شده توسط بویلر، برای تولید انرژی مکانیکی (که خود با چرخاندن مولد برق موجب تولید الکتریسیته می‌گردد)، در یک توربین بخار منبسط می‌شود. توربینهای بخار با توجه به فشار بخار خروجی از آنها، به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- توربینهای پی فشار [2] که در آنها فشار بخار خروجی بالاتر از اتمسفر است.
- توربینهای چگالنده [3] که فشار بخار خروجی آنها معمولاً کمتر از اتمسفر بوده و عملکرد سیستم، نیازمند یک کندانسور است.

ساده ترین شکل سیستم تولید همزمان با محرک اولیه توربین بخار، استفاده از یک توربین بخار پی فشار است که همه بخار تولیدی از آن عبور نموده و در یک فشار نسبتاً پایین، متناسب با مصارف حرارتی مورد نیاز (صنایع و یا اماکن) خارج می‌گردد. چنانچه درجات مختلفی از حرارت مورد نیاز باشد، با تعبیه زیرکش [4] در نقاط مناسب توربین می‌توان نسبت به تأمین آن اقدام نمود.

بدیهی است تعبیه زیرکش سبب کاهش میزان الکتریسیته تولیدی می‌گردد. توربینهای تمام چگالنده با منبسط نمودن بخار تا فشاری زیر اتمسفر (خلاء)، توان الکتریکی تولیدی را به حداکثر می‌رسانند. از آنجا که حرارت خروجی از توربین در این سیستم کم ارزش‌تر از آن است که برای مصارف تولید همزمان مورد استفاده قرار گیرد، حرارت مورد نیاز با تعبیه زیرکش در نقطه یا نقاط مناسب توربین تأمین می‌گردد. (شکل ۳)



شکل(۳):تولید همزمان با محرک اولیه توربین بخار چگالنده

1- Rankine Thermodynamic Cycle
2- Back Pressure Turbine
3- Condensing Turbine
4- Extraction

۶-۱-۲- سیستم تولید همزمان با محرک اولیه توربین گازی

در سالهای اخیر استفاده از توربین گازی بعنوان محرک اولیه سیستمهای تولید همزمان در مقیاسهای بالا (برای تولید ۱ تا ۱۰۰ مگاوات الکتریسیته) بطور فراگیر رواج یافته است. در یک توربین گازی (که براساس سیکل ترمودینامیکی برایتون[1] عمل می‌کند) سوخت به همراه هوای فشرده تأمین شده توسط کمپرسور (که با توربین گازی بصورت یکپارچه می‌باشد) در محفظه احتراق سوازنده شده، گازهای داغ حاصل از احتراق (۹۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد) به سمت پره‌های توربین هدایت و موجب چرخش توربین و نتیجتاً چرخش مولد برق متصل به آن و تولید الکتریسیته می‌گردد. (شکل ۴)

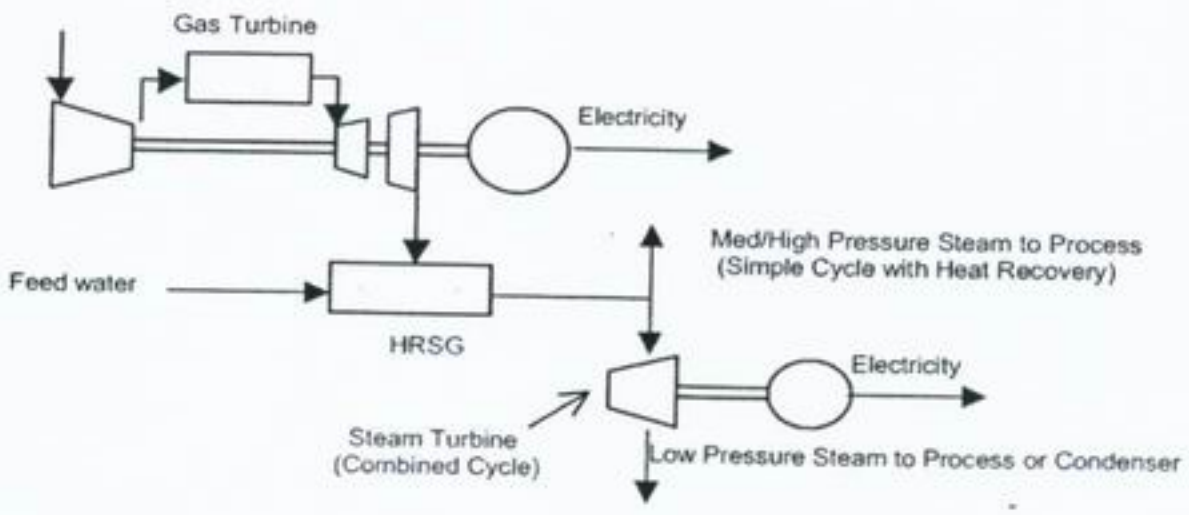
حرارت باقیمانده نیز که به صورت جریانی از گازهای داغ خروجی از توربین می‌باشد، می‌تواند به صورت‌های ذیل جهت تأمین مصارف حرارتی مورد استفاده قرار گیرد:

- در فرآیندهای خشک کردن و سوزاندن بصورت مستقیم
- برای تولید بخار با فشار کم یا متوسط جهت استفاده در فرآیندهای صنعتی و یا گرمایش (و یا سرمایش) اماکن
- برای تولید آب داغ جهت تأمین آب گرم مصرفی و یا گرمایش (و سرمایش) اماکن
- برای تولید بخار فشار بالا در یک مولد بخار بازیافت حرارت (HRSG) جهت استفاده در توربین بخار

گازهای خروجی از توربین گاز، علاوه بر درجه حرارت بالا، به سبب استفاده از هوای اضافی در فرآیند احتراق، محتوی مقدار قابل ملاحظه‌ای(حدود ۱۵٪) اکسیژن نیز می‌باشند که می‌تواند بصورت کارآمد برای سوزاندن سوخت کمکی مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از سوخت کمکی می‌تواند موجب بالارفتن درجه حرارت گازهای (خروجی از توربین گازی و) ورودی به HRSG تا حدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد شده و مقدار بخار تولیدی را تا دو برابر افزایش دهد.

۶-۱-۳- سیستم تولید همزمان با محرک اولیه موتور رفت و برگشتی

از میان محرک‌های اولیه مورد استفاده در سیستمهای تولید همزمان، موتورهای رفت و برگشتی[2] (احتراق داخلی) به علت بازده بالای آنها کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. از میان طرحهای مختلف موتورهای رفت و برگشتی، دو طرح اصلی



شکل (۴):تولید همزمان با محرک اولیه توربین گازی

1- Brayton Thermodynamic Cycle
2- Reciprocating Engines

موتور چهار زمانه احتراق جرقه‌ای (سیکل اتو)[1] و موتور احتراق تراکمی (سیکل دیزل)[2] در تولید الکتریسیته بیشتر حائز اهمیت می‌باشند. اگرچه موتورهای رفت و برگشتی دارای راندمان الکتریکی بالاتری می‌باشند، لیکن استفاده از حرارت‌های اتلافی آنها به علت پراکنده بودن و نیز پایین بودن درجه حرارت (در مقایسه با سایر محرک‌های اولیه) دشوارتر است.

بخشی از این حرارت از طریق گازهای خروجی از اگزوز و بخشی دیگر از طریق سیستم‌های خنک کننده موتور و روغن سیستم روغنکاری خارج می‌شود. درجه حرارت گازهای خروجی نسبتاً بالا و در حدود ۴۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد، لیکن تنها نصف حرارت از این طریق خارج می‌گردد.

حرارت قابل استحصال از مدارهای خنک کننده از درجه پایینی بوده و بعضاً در مصارف گرمایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مواردی نیز حرارت هر دو منبع در سیستم واحدی بازیافت و برای تولید آب گرم و یا بخار کم فشار مورد استفاده قرار می‌گیرد. (شکل ۵)

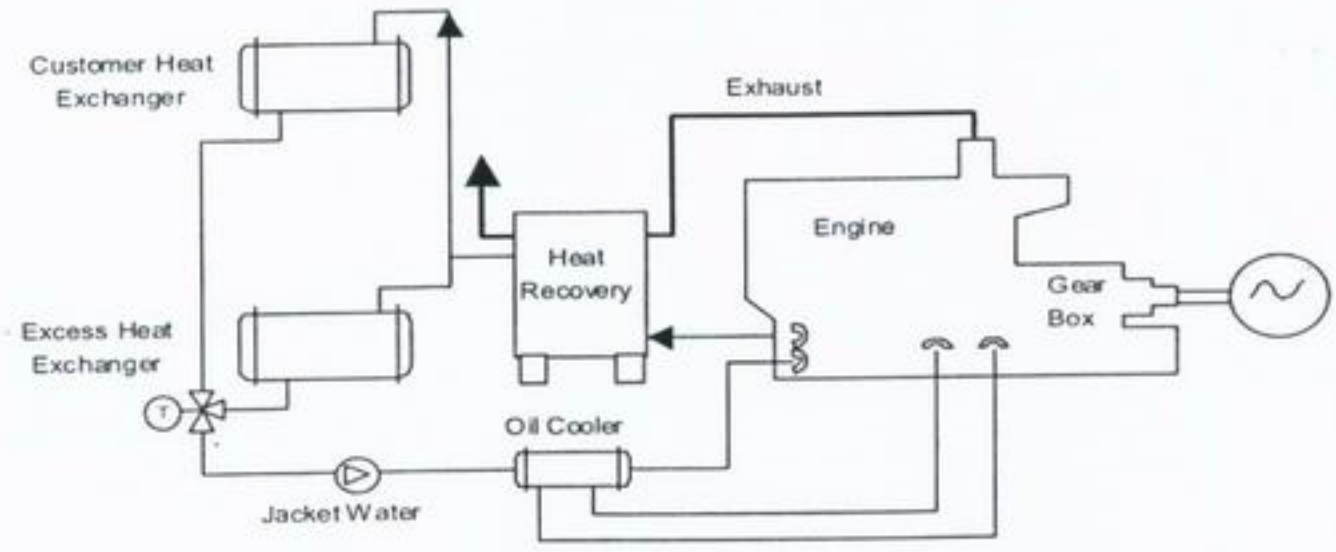
متداول ترین کاربردهای انرژی حرارتی تولیدی موتورهای احتراق داخلی عبارتند از:

- تولید بخار با فشار کم و یا متوسط با استفاده از گازهای خروجی، و تولید جداگانه آب گرم (با درجه حرارت ۸۵ تا ۹۰ درجه سانتیگراد) از طریق سیستمهای خنک کننده موتور
- تولید آب داغ با درجه حرارت ۱۰۰ درجه سانتیگراد با بکارگیری توأمان هر دو منبع حرارت اتلافی
- بکارگیری مستقیم گازهای خروجی برای فرآیندهایی نظیر خشک کردن، تولید CO_2 و غیره
- تولید هوای داغ

۶-۱-۴- سیستم تولید همزمان با محرک اولیه سیکل ترکیبی

بسیاری از واحدهای بزرگ (تولید الکتریسیته) ترکیبی از توربین گازی و توربین بخار را به کار می‌برند که در آن گازهای داغ خروجی از توربین گازی برای تولید بخار مورد نیاز توربین بخار مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم مرکب را، سیکل ترکیبی می‌نامند.

در کاربرد سیکل ترکیبی برای تولید همزمان، بخار خروجی و یا زیرکش شده از توربین بخار



شکل(۵): تولید همزمان با محرک اولیه موتور رفت و برگشتی

1- Otto Cycle
2- Diesel Cycle

برای رفع نیازهای حرارتی فرآیندهای صنعتی و یا دیگر مصارف حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت اصلی سیستم‌های تولید همزمان با محرک اولیه سیکل ترکیبی در مقایسه با سایر سیستمهای تولید همزمان، بالاتر بودن بازده الکتریکی این سیستمها می‌باشد. بازده الکتریکی این سیستمها ۴۵ تا ۵۵٪ و بازده کلی آنها به ۹۰٪ نیز می‌رسد.

۶-۲- فن آوریهای تولید همزمان در حال توسعه

۶-۲-۱- سیستم تولید همزمان با محرک اولیه

میکرو توربین

اقتصادی نبودن توربین‌های گازی کوچکتر از ۱ مگاوات، به علت بازده الکتریکی پایین و طبعاً هزینه بالای تولید (به ازای هر کیلو وات)، سبب روی آوردن به میکروتوربینها شده است. امروزه سازندگان، قادر به تولید میکروتوربینهای با توان الکتریکی تولیدی ۳۰ کیلووات تا ۳۵۰ کیلووات بوده، در عین حال، در حال توسعه سیستمهای کوچک و کوچکتر می‌باشند. میکروتوربینها، نیروگاههای کوچکی با سرعت دورانی بالا هستند که دارای توربوکمپرسور و مولد برق و همچنین تجهیزات الکترونیکی جهت انتقال برق به شبکه می‌باشند. همانند سیستم‌های تولید همزمان با محرک اولیه توربین گازی در این سیستمها نیز، حرارت اتلافی گازهای خروجی در یک مبدل حرارتی (بویلر بازیافت) قابل استحصال می‌باشد. (شکل ۶)

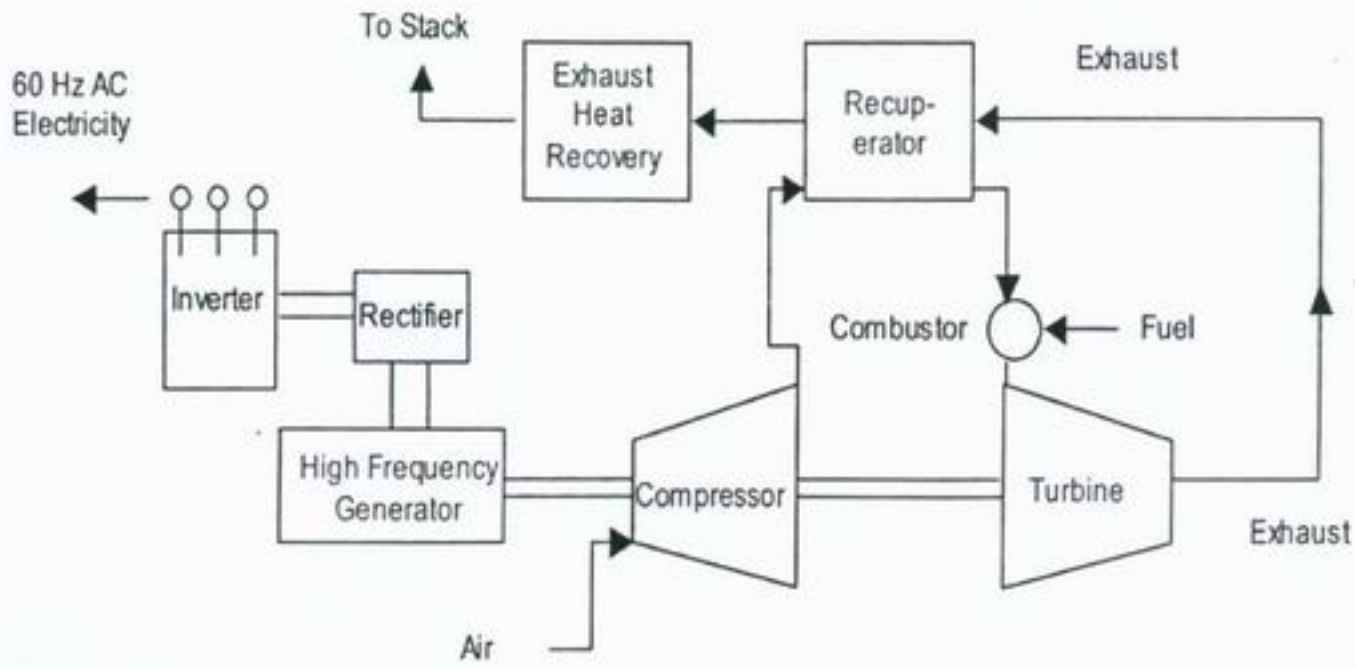
۶-۲-۲- سیستم تولید همزمان با محرک اولیه

پیل سوختی

پیل‌های سوختی در یک فرآیند الکتروشیمیایی که بین هیدروژن و اکسیژن صورت می‌دهند، تولید الکتریسیته، حرارت و آب می‌نمایند. از آنجایی که این واکنش در غیاب هر گونه احتراقی صورت گرفته و برای تولید الکتریسیته نیازمند کار مکانیکی نظیر آنچه در توربینها و موتورها صورت می‌گیرد نمی‌باشد، میزان اتلاف‌ها و انتشار آلاینده‌های آن نیز بسیار کمتر از سایر سیستمها است.

اساس کار این پیلها برمبنای اکسید نمودن هیدروژن استوار است. در این سیستم، هیدروژن (سوخت گازی) به آند و اکسیژن (اکسید کننده) به کاتد فرستاده می‌شود. یونها بسته به نوع بار الکتریکی، توسط الکترولیت به سمت آند و یا کاتد منتقل می‌شوند.

واکنش الکتروشیمیایی در الکترودها صورت گرفته، تولید الکتریسیته، حرارت و آب می‌نماید، بسته به نوع الکترولیت مصرفی، این پیلها انواع متفاوتی دارند.



شکل(۶): تولید همزمان با محرک اولیه میکروتوربین

هر پیل سوختی منفرد نوعی، ولتاژی تا ۱ ولت تولید می‌نماید. برای تأمین ولتاژ و قدرت مورد نیاز، از مجموعه‌ای پیل سوختی منفرد که بصورت سری به یکدیگر متصل می‌باشند استفاده می‌شود. الکتریسیته تولیدی از نوع جریان مستقیم (DC) بوده که نیازمند تبدیل به جریان متناوب (AC) است. حرارت حاصل به صورت آب داغ و یا بخار کم فشار، قابل بازیافت می‌باشد. کیفیت این حرارت بستگی به نوع پیل و درجه حرارت عملکردی آن دارد (شکل ۷).

اکسیژن مورد نیاز این سیستمها از هوا گرفته شده و هیدروژن مورد نیاز معمولاً از گاز طبیعی تأمین می‌گردد. هر چند که از متانول، اتانول و الکترولیز آب نیز قابل تهیه است.

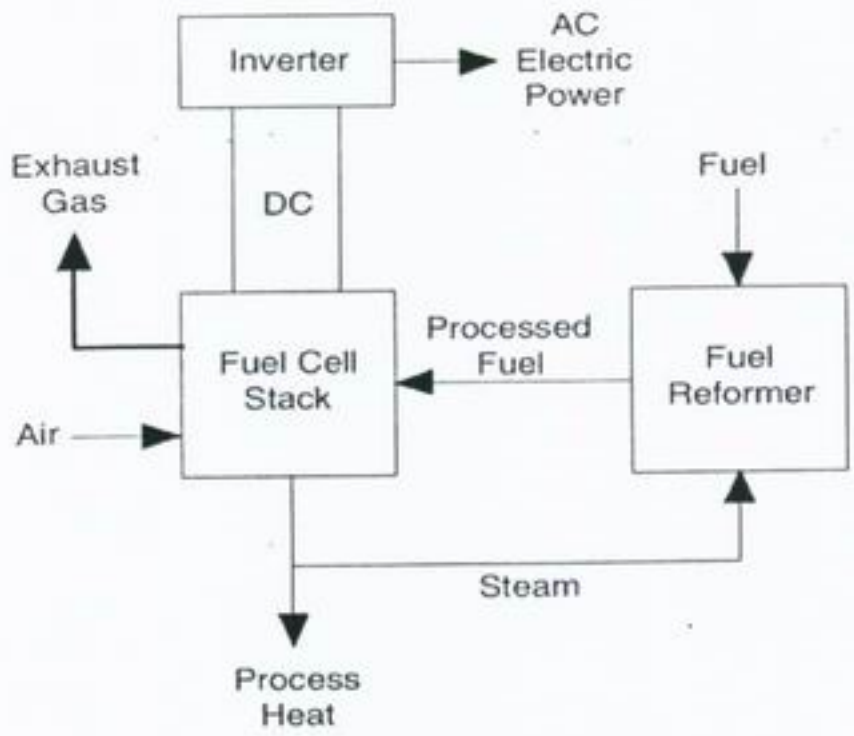
۶-۲-۳- سیستم تولید همزمان با محرک اولیه موتور استرلینگ

موتور استرلینگ یک موتور احتراق خارجی است، به این معنی که حرارت مورد نیاز از طریق یک منبع خارجی (نظیر سوزاندن گاز در بیرون از موتور) تأمین می‌گردد.

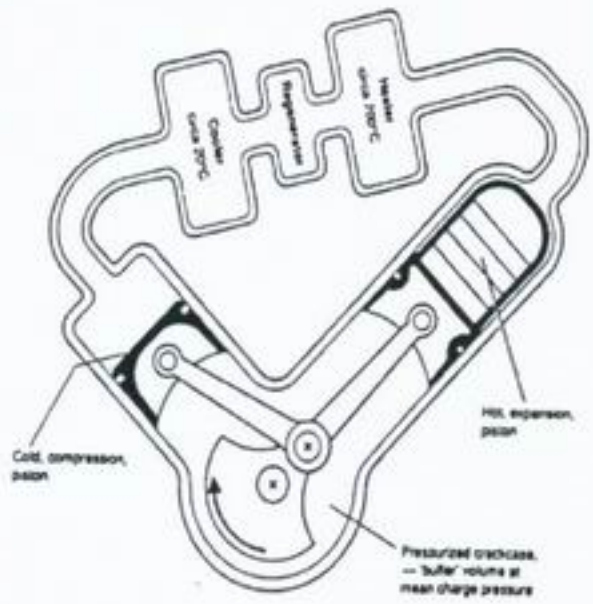
این موتور دارای یک سیکل گازی بسته است که سیال عامل آن یک گاز خنثی مانند هلیم، و یا گاز هیدروژن می‌باشد. این موتور همچنین دارای دو پیستون، یکی پیستون عامل و دیگری پیستون جابجاکننده است.

حرارت اعمال شده سبب انبساط سیال عامل و حرکت پیستون عامل می‌گردد. سپس سیال عامل توسط پیستون جابجا کننده به ناحیه سرد منتقل شده که در آنجا مجدداً فشرده شده، به ناحیه گرم منتقل می‌گردد و سیکل ادامه می‌یابد. در این سیستم مرتباً حرارت در دماهای ثابتی داده و گرفته می‌شود. (شکل ۸)

سیستم‌های تولید همزمان با محرک اولیه موتور استرلینگ هنوز بصورت کاربردی وارد بازار نشده‌اند.



شکل (۷): تولید همزمان با محرک اولیه پیل سوختی



شکل(۸): موتور استرلینگ از نوع آلفا

جدول (۱): مقایسه فن آوریهای موجود تولید همزمان [۳]

فن آوری	توربین بخار	موتور دیزل	موتور گاز سوز (گاز طبیعی)	توربین گاز	میکرو توربین	پیل سوختی
بازده الکتریکی[1] (٪)	۱۵-۳۸	۲۷-۴۵	۲۲-۴۰	۲۲-۳۶	۱۸-۲۷	۳۰-۶۳
بازده کلی[1] (٪)	۸۰	۷۰-۸۰	۷۰-۸۰	۷۰-۷۵	۶۵-۷۵	۶۵-۸۰
بازده الکتریکی مؤثر[1] (٪)	۷۵	۷۰-۸۰	۷۰-۸۰	۵۰-۷۰	۵۰-۷۰	۶۰-۸۰
ظرفیت نوعی (MWe)	۰/۲-۸۰۰	۰/۰۳-۵	۰/۰۵-۵	۱-۵۰۰	۰/۰۳-۰/۳۵	۰/۰۱-۲
نسبت قدرت به حرارت	۰/۱-۰/۳	۰/۵-۱	۰/۵-۱	۰/۵-۲	۰/۴-۰/۷	۱-۲
حالت نیمه بار	عالی	خوب	عالی	ضعیف	عالی	۰ خوب
هزینه‌های نصب واحد CHP ($/KW$_e$)[2]	۳۰۰-۹۰۰	۹۰۰-۱۵۰۰	۹۰۰-۱۵۰۰	۸۰۰-۱۸۰۰	۱۳۰۰-۲۵۰۰	۲۷۰۰-۵۳۰۰
هزینه‌های بهره برداری و سرویس و نگهداری ($/KWh$_e$)[2]	< ۰/۰۰۴	۰/۰۰۵-۰/۰۱۵	۰/۰۰۷-۰/۰۲	۰/۰۰۳-۰/۰۰۹۶	۰/۰۱	۰/۰۰۵-۰/۰۴
قابلیت دسترسی (٪)	نزدیک ۱۰۰	۹۰-۹۵	۹۲-۹۷	۹۰-۹۸	۹۰-۹۸	>۹۵
ساعات بین دو سرویس (Overhaul) متوالی	> ۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰-۳۰۰۰۰	۲۴۰۰۰-۶۰۰۰۰	۳۰۰۰۰-۵۰۰۰۰	۵۰۰۰-۴۰۰۰۰	۱۰۰۰۰-۴۰۰۰۰
مدت زمان راه اندازی	۱ ساعت تا ۱ روز	۱۰ ثانیه	۱۰ ثانیه	۱۰ دقیقه تا ۱ ساعت	۱ دقیقه	۳ ساعت تا ۲ روز
فشار سوخت (psi)	-	< ۵	۱-۴۵	۱۲۰-۵۰۰ (کمپرسور)	۴۰-۱۰۰ (کمپرسور)	۰/۵-۴۵
سوختهای قابل استفاده	همه نوع	دیزل و نفت سنگین	گاز طبیعی، بیوگاز، پروپان و گاز دفنگاه	گاز طبیعی، بیوگاز، پروپان و نفت	گاز طبیعی، بیوگاز، پروپان و نفت	هیدروژن، گاز طبیعی، پروپان و متانول
صدا	بالا	بالا	بالا	متوسط	متوسط	کم
صورتهای حرارت بازیافتی	بخار از فشار پایین تا فشار بالا	آب داغ و بخار فشار پایین	آب داغ و بخار فشار پایین	حرارت، آب داغ بخار از فشار پایین تا فشار بالا	حرارت، آب داغ بخار فشار پایین	آب داغ و بخار فشار پایین
قدرت برمساحت واحد (KW/m^2)	> ۱۰۰	۳۵-۵۰	۳۵-۵۰	۲۰-۵۰۰	۵-۷۰ -	۵-۲۰
اکسیدهای نیتروژن NO_X (Lb/MWh_{total})	۰/۱۳-۱/۳	۴/۳-۸/۲	۰/۸	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۰۲

۱-مقادیر بازده بر مبنای HHV می‌باشند.

۲-هزینه‌ها بر مبنای ارزش دلار آمریکا در سال ۲۰۰۰ می‌باشد.

۷- امکان سنجی استفاده از سیستمهای تولید همزمان

استفاده بهینه و کارآمد از سیستمهای تولید همزمان نیازمند انجام یک امکان سنجی دقیق و همه جانبه قبل از هر گونه تصمیم گیری در این خصوص است. این امکان سنجی که علاوه بر ملاحظات فنی، مسائل اقتصادی و زیست محیطی را نیز مدنظر قرار می‌دهد، نشان خواهد داد که آیا برای استفاده کننده نهایی[1] مورد نظر، بکارگیری سیستم تولید همزمان، انتخاب مناسب و مقرون به صرفه‌ای است و یا آنکه تولید مجزای حرارت و الکتریسیته ارجح‌تر می‌باشد. میزان بارهای الکتریکی و حرارتی مورد نیاز و تغییرات آنها (منحنی‌های بارهای الکتریکی و حرارتی)، میزان همزمانی مصارف الکتریکی و حرارتی، نسبت قدرت به حرارت[2] مورد نیاز و تغییرات احتمالی آن از جمله عوامل فنی حائز اهمیت در این امکان سنجی می‌باشند.

با در دست داشتن میزان انرژیهای الکتریکی و حرارتی مورد نیاز و توجه به محدوده مناسب هر یک از فن آوریهای تولید همزمان، می‌توان نسبت به برآوردهای اقتصادی اولیه اقدام نمود. حداقل میزان همزمانی قابل قبول (از نظر اقتصادی) مصارف الکتریکی و حرارتی برای واحدهای تولید همزمان ۴۵۰۰ ساعت در سال می‌باشد. (هر چند ممکن است تحت شرایطی خاص، به کارگیری تولید همزمان برای مدت زمان همزمانی کمتر نیز مقرون به صرفه باشد.) [۴]

نسبت قدرت به حرارت مورد نیاز می‌بایست در محدوده نسبت قدرت به حرارت فن آوریهای تولید همزمان باشد. ضمن آنکه تغییرات این نسبت نباید بیشتر از ۱۰٪ باشد. [۴]

اگرچه سیستم‌های تولید همزمان با کاهش میزان مصرف سوخت، سبب کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها می‌گردند، با این همه اغلب نمی‌توان مطمئن بود که این سیستمها کل آلاینده‌ها را کاهش می‌دهند. بسته به تکنولوژی و سوخت به کار گرفته شده، ممکن است آلاینده‌ای (مانند CO_2) را کاهش دهند، در حالیکه آلاینده دیگری (مانند NO_X) را افزایش می‌دهند و یا بعضاً ممکن است یک واحد تولید همزمان (در صورت انتخاب نامناسب) گازهای گلخانه‌ای بیشتری نسبت به یک استفاده کارآمد از سیستم‌های مجزای تولید حرارت و الکتریسیته ایجاد نماید.

نکته قابل توجه دیگر اینکه، نیروگاههای متمرکز معمولاً در محل‌هایی دور از مناطق مسکونی واقع شده و مجهز به تجهیزات کاهش آلاینده‌ها و دودکش‌های بلند برای پراکنده نمودن آلاینده‌ها می‌باشند. در حالیکه واحدهای تولید همزمان با قرارگیری در داخل و یا نزدیک مناطق مسکونی می‌توانند تأثیر معکوسی برکیفیت هوای محلی داشته باشند.

۸- ارزیابی فن آوریهای تولید همزمان

پیش از انتخاب یک واحد تولید همزمان، لازم است با توجه به شرایط و نیازهای موجود، فن آوریهای تولید همزمان مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرد. عوامل متعددی در این ارزیابی مؤثر خواهد بود که می‌توان آنها را در سه مقوله عوامل فنی، عوامل اقتصادی و عوامل زیست محیطی دسته بندی نمود. به عبارتی دیگر، این ارزیابی مشتمل بر سه بخش خواهد بود: ارزیابی فنی، ارزیابی اقتصادی و ارزیابی زیست محیطی.

۱- End User که می‌تواند یک واحد، مجتمع و یا حتی شهرک صنعتی و یا مسکونی باشد.

2- Power to Heat Ratio

۸-۱- ارزیابی فنی

ارزیابی فنی در حقیقت تعیین گزینه و یا گزینه‌های واجد شرایط از لحاظ فنی است. عوامل متعددی در انتخاب فن آوری تولید همزمان نقش مؤثر و تعیین کننده برعهده دارند. برخی از مهمترین این عوامل عبارتند از:

۸-۱-۱- میزان انرژی الکتریکی مورد نیاز

با توجه به محدودیت های برخی از فن آوریهای تولید همزمان برای تولید الکتریسته، میزان الکتریسته مورد نیاز می‌تواند از جمله عوامل تعیین کننده در انتخاب فن آوری باشد. محدوده تغییرات میزان تولید الکتریسته برای فن آوریهای مختلف در جدول (۱) درج شده است.

۸-۱-۲- نسبت قدرت به حرارت

این نسبت عبارت است از نسبت انرژی الکتریکی تولیدی به انرژی حرارتی مفید (قابل بازیافت) واحد تولید همزمان. این نسبت برای فن آوریهای مختلف متفاوت بوده و محدوده تغییر آن برای هر یک از فن آوریهای تولید همزمان در جدول (۱) آمده است. با توجه به نیازهای حرارتی و الکتریکی استفاده کننده نهایی می‌توان نسبت قدرت به حرارت مورد نیاز را تعیین و بر آن اساس نسبت به انتخاب فن آوری و یا فن آوریهای مناسب اقدام نمود.

۸-۱-۳- بازده

از جمله عوامل بسیار مهم در انتخاب هر نوع فن آوری، بازده تولید می‌باشد. در خصوص بازده سیستمهای تولید همزمان قبلاً بطور مفصل توضیح داده شد. در اینجا تنها ذکر این نکته ضروری است که با توجه به ارزشهای متفاوت انرژیهای الکتریکی و حرارتی، لازم است در ارزیابیها، هر دو بازده الکتریکی و کلی مدنظر قرار گیرند، چرا که ممکن است در مواردی انرژی الکتریکی قسمت اعظم نیاز انرژی استفاده کننده نهایی باشد، که در اینصورت یک بازده کلی کمتر، همراه با بازده الکتریکی بیشتر، واقع بینانه تر خواهد بود.

۸-۱-۴- قابلیت اعتماد[1] و قابلیت دسترسی[2]

در طراحی سیستمهای قدرت، قابلیت اعتماد سیستم از اولویت بالایی برخوردار است. قابلیت اعتماد در واقع بیانگر استعداد سیستم (واحد) در نداشتن توقفهای ناخواسته (برنامه ریزی نشده) است[3]. به عبارتی دیگر:

$$R=(t_p- t_f)/t_p \qquad (۷)$$

در این رابطه:

R: قابلیت اعتماد واحد؛

t_p: ساعات کارکرد برنامه ریزی شده واحد و

t_f: ساعات توقف (خروج از مدار) واحد بصورت ناخواسته و بالاجبار می‌باشد.

در برخی کاربردها، قابلیت دسترسی معیار بهتری جهت بررسی عملکرد سیستم (واحد) بدست می‌دهد. قابلیت دسترسی بنابر تعریف، معیاری است بیانگر میزان دسترسی به سیستم (واحد) با احتساب تمام توقف‌های ممکن آن. یعنی:

$$A=(t_p- t_f) / (t_p+t_m) \qquad (۸)$$

که در آن:

A: قابلیت دسترسی واحد و

t_m: ساعات توقف (خروج از مدار) واحد بصورت برنامه ریزی شده جهت سرویس و نگهداری می‌باشد.

1- Reliability

2- Availability

۳- تعاریف متعددی برای قابلیت اعتماد و قابلیت دسترسی ارائه شده است. در اینجا تنها به تعاریف اروپائی این معیارها اکتفا شده است.

۸-۱-۵- کیفیت (شرایط) حرارت مورد نیاز

کیفیت حرارت مازاد (اتلافی) محرک‌های اولیه سیستم‌های تولید همزمان متفاوت بوده، طبعاً شرایط (دما و فشار) حرارت قابل بازیافت آنها نیز یکسان نمی‌باشد. از این رو شرایط حرارت مورد نیاز استفاده کننده نهایی می‌تواند در انتخاب فن آوری تولید همزمان نقش تعیین کننده‌ای داشته باشد. فرآیندهای صنعتی نیازمند حرارت را می‌توان برحسب دمای مورد نیاز آنها به شرح ذیل دسته بندی نمود:

۱- فرآیندهای با درجه حرارت پایین (کمتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد) مانند خشک کردن محصولات کشاورزی، و همچنین گرمایش و سرمایش اماکن و تولید آب گرم مصرفی

۲- فرآیندهای با درجه حرارت متوسط (بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد) مانند صنایع نیشکر و کاغذ، صنایع نساجی، کارخانه قند، برخی صنایع شیمیایی و غیره. در این فرآیندها معمولاً حرارت بصورت بخار مصرف می‌شود.

۳- فرایندهای با درجه حرارت بالا (بین ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد) مانند برخی صنایع شیمیایی

۴- فرآیندهای با درجه حرارت خیلی بالا (بالاتر از ۷۰۰ درجه سانتیگراد) مانند کارخانه سیمان، صنایع شیشه و شیشه گری و صنایع فلزی مادر

با توجه به شرایط حرارت خروجی از محرک‌های اولیه سیستم‌های تولید همزمان با تقدم تولید الکتریسته (سیکل فوقانی)، این واحدها تنها قادر به تأمین نیازهای حرارتی فرآیندهای مذکور در بندهای ۱و۲ می‌باشند. تأمین نیازهای حرارتی فرآیندهای با درجه حرارت بالا (ردیفهای ۳و۴) به وسیله سیستمهای تولید همزمان با تقدم تولید حرارت (سیکل تحتانی) میسر است.

۸-۲- ارزیابی اقتصادی

ارزیابی فنی معمولاً منجر به تعیین دو یا چند گزینه قابل قبول از لحاظ فنی می‌گردد و انتخاب گزینه برتر از میان آنها با انجام ارزیابیهای اقتصادی و زیست محیطی صورت می‌گیرد. در ارزیابی اقتصادی، کل هزینه‌های دوره عمر[1] هر یک از گزینه‌ها تعیین و براساس یکی از روشهای متداول (نظیر روش ارزش فعلی خالص[2] و یا روش نرخ بازگشت داخلی[3]) مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. حاصل این تجزیه و تحلیل معیار مناسبی جهت مقایسه گزینه‌ها از نظر اقتصادی و انتخاب گزینه برتر بدست خواهد داد. در محاسبه هزینه‌های دوره عمر معمولاً کل هزینه‌ها، از لحظه شروع پروژه تا برچیدن واحد در پایان دوره عمر آن به حساب آورده می‌شود. این هزینه‌ها عبارتند از:

- سرمایه گذاری اولیه
- هزینه‌های متغیر (شامل مواد مصرفی و مالیاتها)
- هزینه‌های ثابت (شامل هزینه‌های مربوط به پرسنل بهره بردار، پیمانهای خدماتی و قعطات یدکی)
- هزینه‌های قطع برق (شامل هزینه‌های ذخیره الکتریسته، سوخت یدکی، هزینه‌های خاموش کردن و راه اندازی مجدد)
- سرمایه گذاری مجدد (برای تجهیزاتی که طول عمر مفید آنها کمتر از طول عمر واحد می‌باشد)
- هزینه‌های زیست محیطی
- هزینه‌های برچیدن واحد (شامل هزینه‌های خاموش کردن و خارج کردن واحد از چرخه تولید و برچیدن تجهیزات)

1-Life Cycle
2- Net Present Value (NPV)
3- Internal Rate of Return .

۸-۳- ارزیابی زیست محیطی

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، سیستم‌های تولید همزمان به علت استحصال هر چه بیشتر انرژی از سوخت، علاوه بر صرفه جویی در مصرف سوخت، موجب کاهش انتشار آلاینده‌ها (بویژه گازهای گلخانه‌ای) نیز می‌شوند.

تحقیقات بعمل آمده نشان داده است که در صورت استفاده از سوخت گاز طبیعی، چنانچه یک واحد تولید همزمان، جایگزین یک واحد سیکل ترکیبی (با راندمان الکتریکی ۵۴٪) و یک بویلر (با راندمان حرارتی ۹۰٪) گردد، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۵٪ کاهش خواهد یافت.[۷]

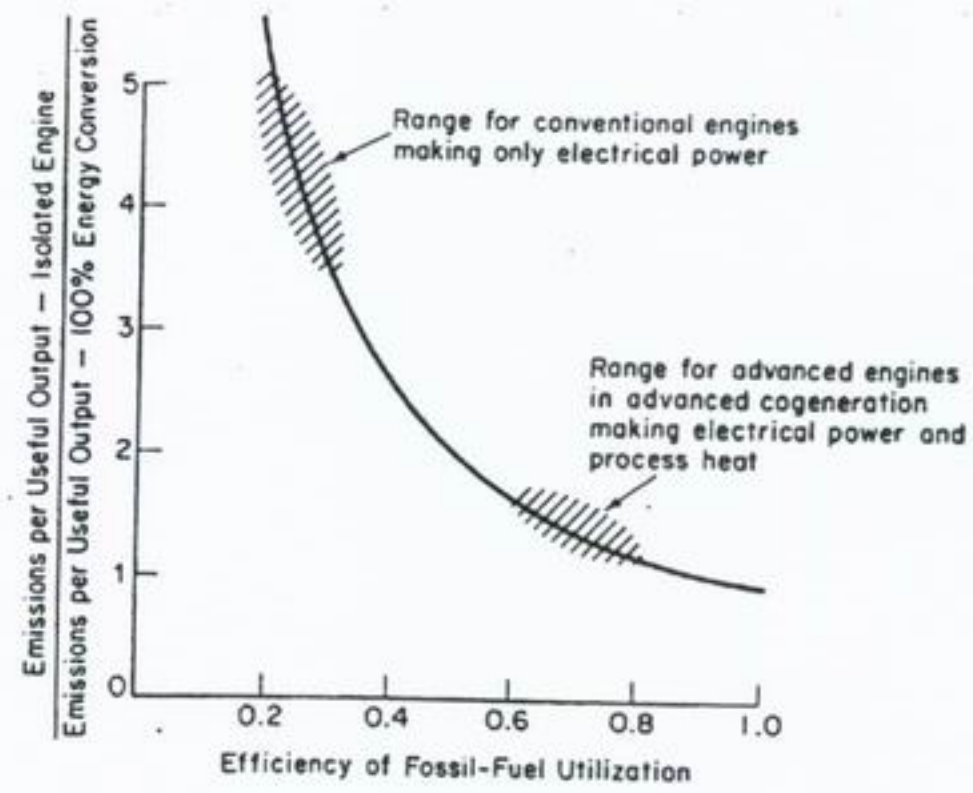
همانطور که در شکل (۹) ملاحظه می‌گردد، بازده سیستم تأثیر مستقیمی بر میزان انتشار آلاینده‌ها دارد (البته این در شرایطی است که کیفیت سوخت ثابت بماند.).

از میان محرک‌های اولیه تولید همزمان، موتورهای دیزل و اتو (موتورهای گاز سوز) به علت انتشار بالا (ولی اغلب قابل کنترل) اکسیدهای نیتروژن (NO_X) و هیدروکربنهای نسوخته، بیشترین تأثیرات منفی بر کیفیت هوا را دارا می‌باشند. میزان تولید اکسیدهای نیتروژن در فن آوریهای مختلف تولید همزمان، در جدول (۱) درج شده است.

ارزیابی زیست محیطی منحصر به بررسی آلاینده‌های هوا نبوده، بلکه مواردی نظیر آلودگی‌های صوتی، آلودگی آبها (ناشی از Blowdowm بویلر و سیستم‌های خنک کن، ...) و حتی آلودگی مواد جامد (ناشی از حمل و نقل سوختها، دفع مواد زائد نظیر لجن، خاکستر، ...) را نیز در بر می‌گیرد.

۹- نتیجه گیری

سیستمهای تولید همزمان حرارت و الکتریسیته، با بازیافت حرارت اتلافی محرک‌های اولیه و استحصال هرچه بیشتر انرژی سوخت، ضمن افزایش بازده کلی سیستم (بازده تبدیل انرژی شیمیایی سوخت به انرژیهای مفید)، سبب صرفه جویی در مصرف سوخت و طبعاً کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها می‌گردند، اما این



شکل (۹): نمودار تغییر میزان انتشار آلاینده ها برحسب بازده [۱]

عبارت قدری گمراه کننده است. در بسیاری موارد واحدهایی به عنوان تولید همزمان قلمداد می‌شوند که تنها کسر کوچکی از حرارت قابل تولید آنها، مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنانچه سیستم تولید همزمان نیز بصورت مناسبی انتخاب نشده باشد، چه بسا تأثیرات زیست محیطی آن زیان بارتر از یک استفاده کارآمد از سیستمهای مجزای تولید الکتریسیته و حرارت باشد.
استفاده از واحدهای تولید همزمان (در مقیاس متوسط و یا بزرگ) در واحدها، مجتمع‌ها و یا حتی شهرک‌های صنعتی، چنانچه واجد بصورت مناسبی (پس از انجام ارزیابیهای لازم) انتخاب شده باشد، قطعاً چه از نظر اقتصادی و چه از نظر زیست محیطی اقدام مثبتی خواهد بود. لیکن استفاده از واحدهای تولید همزمان (در مقیاس کوچک و یا متوسط) در مجتمع‌ها و یا مناطق مسکونی، بویژه چنانچه امکان استفاده از شبکه‌های سراسری برق فراهم باشد، با توجه به مسائل زیست محیطی (و حتی اقتصادی) نیازمند انجام یک بررسی و امکان سنجی دقیق و حساب شده است.
به عبارت آخر، اگرچه استفاده از سیستمهای تولید همزمان همواره صرفه جویی در مصرف سوخت را به دنبال دارد، لیکن نمی‌توان مطمئن بود که همواره کاهش انتشار آلاینده‌ها را نیز به همراه داشته باشد.

۱۰- مراجع

1- "The European Education Tool on Cogeneration", EDUCOGEN, 2nd edition, 2001.

2- Technical Report: "Available Cogeneration Technologies in Europe ", Parts I & II, COGEN 3, 2003.

3- "Catalogue of CHP Technologies: Introduction to CHP Technologies", EPA, CHP Partnership, 2002.

4- C.B. Oland, "Guide to Combined Heat and Power Systems for Boiler Owners and Operators", Oak Ridge, National Laboratory, 2004.

5- European Commission Directive on "the Promotion of Cogeneration Based on a Useful Heat Demand in the Internal Energy Market", Brussels, July 2002.

6- "A Guide to Cogeneration", EDUCOGEN, 2001.

7- "Greenhouse Gas Emission from Power Generation Options", Hydro- Quebee, January 2003.

آقای علیرضا شفیعی ده آباد فارغ التحصیل رشته مهندسی مکانیک (گرایش حرارت و سیالات) از دانشگاه صنعتی شریف در مقطع کارشناسی است. ایشان با بیش از ۱۵ سال تجربه کاری در زمینه‌های نفتی و نیروگاهی، از مرداد ۱۳۸۵ همکاری خود را با این شرکت آغاز نموده است. زمینه کاری مورد علاقه ایشان انرژیهای نو می‌باشد.
alishafiei@ghods-niroo.com

ترکیب RO و EDI برای تولید آب فوق خالص

حسین حق‌پرست

کارشناس ارشد شیمی- شرکت مدیریت تولید برق یزد

چکیده

با ظهور و پیشرفت تکنولوژی یونزدایی الکتریکی به عنوان شیوه دیگر یونزدایی، هم اکنون تولید آب فوق خالص بدون استفاده از مواد شیمیایی یک واقعیت عملی می‌باشد. جایگزین نمودن یونزدایی الکتریکی به جای یونزدایی به روش سنتی دارای مزایای متعددی است. ترکیب تکنولوژیهای اسمز معکوس و یونزدایی الکتریکی می‌تواند محدودیتهای هر یک از این دو تکنولوژی را برطرف سازد. در حقیقت یک واحد تصفیه آب مبتنی بر اسمز معکوس- یونزدایی الکتریکی جهشی کوانتمی در بین سایر تکنولوژیهای تصفیه آب محسوب می گردد. در جریان چند سال گذشته یونزدایی الکتریکی در بسیاری از زمینه های تصفیه آب مورد قبول واقع شده است. امروزه تقریباً نیمی از سیستمهای تصفیه آب کلیه نیروگاههای جدید و تقریباً ۷۵ درصد سیستمهای دارویی مبتنی بر یونزدایی الکتریکی می‌باشند. این سیستم هم ایمن‌تر بوده و هم از نظر محیط زیست سازگارتر از تکنولوژی رقیب دیگر می‌باشد. در این مقاله به بررسی کاربرد اسمز معکوس و همچنین EDI و ترکیب این دو روش پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *یونزدایی، یونزدایی الکتریکی، اسمز معکوس، آب فوق خالص*

۱- مقدمه

یکی از اولین و رایج ترین کاربردهای اسمز معکوس استفاده از آن به عنوان مرحله پیش‌تصفیه واحدهای یونزدایی می‌باشد. اسمز معکوس با کاهش فرکانس احیای رزینهای تبادل یونی در سیستمهای یونزدایی باعث کاهش هزینه‌های تولید آب خالص می‌شود. برای آبهای نیمه‌شور استفاده از سیستم اسمزمعکوس-یونزدایی، اقتصادی‌تر از سیستم یونزدایی به تنهایی می‌باشد.

با ابداع یونزدایی الکتریکی EDI به عنوان شیوه دیگر یونزدایی تعداد آرایشهای قابل استفاده برای تامین کننده سیستم آب فوق خالص نیزگسترش یافته است. برای دستیابی به یک طرح مطمئن، کارا و اقتصادی امکانهای مختلفی برای ترکیب نمودن سیستمهای اسمزمعکوس و یونزدایی الکتریکی وجود دارد. از سیستم یونزدایی الکتریکی در هر جای صنایع عمومی که به آب بدون یون نیاز باشد، می‌توان استفاده نمود. آب فوق خالص برای تولید میکروالکترونیک و نیمه‌هادیها، برای مصارف زیست‌پزشکی و آزمایشگاهی، برای آمیزه‌های دارویی، در صنایع غذایی و آشامیدنی و برای تغذیه بویلرهای فشار بالا در نیروگاهها، مصرف می‌شود.

طبق تعریف مقاومت آب فوق خالص در محدوده ۱۸-۱۰ MΩ.cm می‌باشد (جدول ۱). مقاومت تقریبی آب خالص تولیدی یک مدول نوعی EDI تقریباً بین ۱۵ تا ۱۷ مگا اهم است. به طور کلی مقاومت در این محدوده برای اکثر کاربردهای ذکر شده فوق، کفایت می‌کند و تنها اندکی کمتر از مقاومت ۱۸/۲ مگااهم مورد نیاز برای کاربردهای نیمه هادیها می‌باشد.

جدول(۱): طبقه‌بندی آبهای خالص

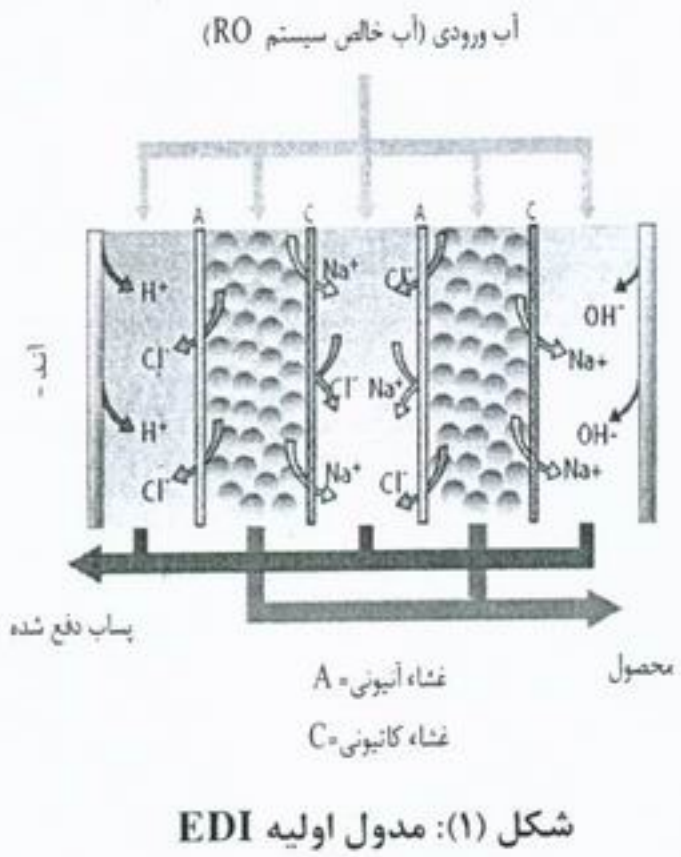
کیفیت	فوق خالص	آب خالص	آب خالص شده
مقاومت نوعی	۱۰-۱۸ MΩ.cm	۱-۱۰ MΩ.cm	۰/۰۲-۱ MΩ.cm
هدایت الکتریکی	۰/۰۵-۰/۱ µS/cm	۰/۱-۱ µS/cm	۱-۵۰ µS/cm

معمولاً برای تولید آب فوق خالص از سیستم اسمز معکوس- یونزدایی استفاده می‌شود. اسمز معکوس نقش مرحله اصلی کاهش املاح محلول آب (TDS) و یونزدایی (DI) نقش مرحله نهایی کاهش املاح (پولیشینگ) تا میزان فوق خالص را ایفا می‌کنند. در مواردی که TDS آب ورودی بالا باشد یا کاهش بیشتری در فرکانس احیای سیستم یونزدایی مورد نظر باشد، می‌توان از یک سیستم اسمز معکوس دوبارگذر[1] به جای سیستم اسمز معکوس یکبار گذر[2] استفاده نمود. تکنولوژی یونزدایی با استفاده از رزینهای تبادل یونی اغلب در دو مرحله بکار برده می‌شود، یک سیستم یونزدایی پرایمری (کاتیون/آنیون)که برای اغلب کاربردها مناسب می‌باشد و یک سیستم یونزدایی پولیشینگ (بستر مخلوط[3])، زمانی که آب با مقاومت ۱۸/۲ مگا اهم مورد نیاز است.

۲- فرایند یونزدایی الکتریکی یا EDI[4]

EDI با ترکیب دو تکنولوژی محرز خالص‌سازی آب یعنی الکترودیالیز و رزینهای تبادل یونی، یونها را از جریان آب حذف می‌کند. دستگاه EDI شامل یک الکترود به عنوان کاتد، یک الکترود به عنوان آند، غشاهای کاتیونی و غشاهای آنیونی به صورت یکدرمیان، می‌باشد. فضای بین غشاها به طور متناوب از رزینهای تبادل یونی پر شده است.

شکل (۱) یکی از مدول‌های اولیه EDI را نشان می‌دهد. آب ورودی (آب خالص سیستم اسمز معکوس) به طور موازی وارد همه بخشها می‌شود. اعمال یک جریان الکتریکی مستقیم DC باعث تحریک یونها برای حرکت از بخشهای حاوی رزین به بخشهای مجاور می‌شود.



شکل (۱): مدول اولیه EDI

جریان آب ورودی به دو جریان خروجی، یکی جریان آب خالص و دیگری جریان تغلیظ‌شده، تقسیم می‌شود. بازیافت این سیستم که بین ۹۰ ٪ تا ۹۵٪ می‌باشد، جریان تغلیظ محیطی برای جمع‌آوری یونهایی که از آب ورودی دفع شده‌اند را فراهم می‌نماید و آنها را از مدول EDI جدا می‌سازد. یک جریان پیوسته دیگر با نام جریان الکترولیت در سطح الکترودها از انباشته شدن یونها در الکترودها جلوگیری می‌کند.

1- Double pass RO
2- Single pass RO
3- Mixed – bed
4- Electrodeionization

در اغلب کاربردها جریان آب ورودی به این سه جریان (خالص، تغلیظ و الکترولیت) تفکیک می‌گردد. با این وجود در برخی از کاربردها برای بهبود پدیده انتقال یون، جریان تغلیظ با غلظتی بیشتر از آب ورودی EDI تغذیه می‌شود. در این موارد محلول تغلیظ یا از یک سیستم مجزای تزریق آب نمک یا به وسیله بازگرداندن تغلیظ EDI به ورودی بخش تغلیظ ناشی می‌شود.

سیستمهای EDI با نصب یک یا چند مدول EDI بر روی یک اسکید (چارچوب) و نصب شیرها و اتصالات و ابزار دقیق مربوطه و یک منبع توان DC شکل می‌گیرند. ظرفیت سیستمهای EDI بستگی به تعداد مدولهایی که بر روی اسکید (چارچوب) نصب شده است از یک گالن بر دقیقه تا صدها گالن بر دقیقه متغیر می‌باشد.

۳- فرایند تولید آب فوق خالص با سیستم RO/EDI

برای تولید آب فوق خالص، معمولاً همیشه سیستم EDI بعد از RO قرار می‌گیرد. هدایت آب ورودی سیستم EDI باید در محدوده ۴-۳۰ $\mu S/cm$ باشد. قرار دادن سیستم EDI به جای سیستم یونزدایی سنتی بعد از RO دارای مزایایی متعددی است که در ذیل به برخی از آنها اشاره می‌شود.

۳-۱- عدم نیاز به احیا با استفاده از مواد شیمیایی خطرناک

به دلیل مشخصه استثنایی فرایند EDI که سبب می‌شود مولکول آب به یونهای هیدروژن (H^+) و هیدروکسیل (OH^-) تفکیک گردد، نیاز به احیای شیمیایی وجود ندارد. تولید محلی H^+ و OH^- در داخل رزینهای تبادل یونی باعث احیای مداوم رزینها، بدون استفاده از مواد شیمیایی می‌شود. مرتفع نمودن ضرورت احیای شیمیایی باعث کاهش هزینه بهره‌برداری و ساده نمودن فرایند کنترل می‌شود.

۳-۲- بهره برداری مداوم

علاوه بر حذف نیاز به مواد شیمیایی مخاطره‌آمیز، هر سیستم RO/EDI به دلیل اینکه زمان توقفی برای احیا وجود ندارد، می‌تواند به طور مداوم بهره‌برداری گردد. سیستمهای یونزدایی با استفاده از رزینهای تبادل یونی برای احیا باید از حالت سرویس خارج گردند.

۳-۳- عدم وجود نرمه‌های رزین

بسترهای رزینی مختلط با استفاده از مقادیر زیاد رزین به مرور زمان گرایش به زوال داشته و تولید نرمه‌های رزین می‌نمایند. در مورد سیستم EDI دیگر نیازی به استفاده از تله‌های رزینی[1] نمی‌باشد.

۳-۴- بهره‌برداری ساده

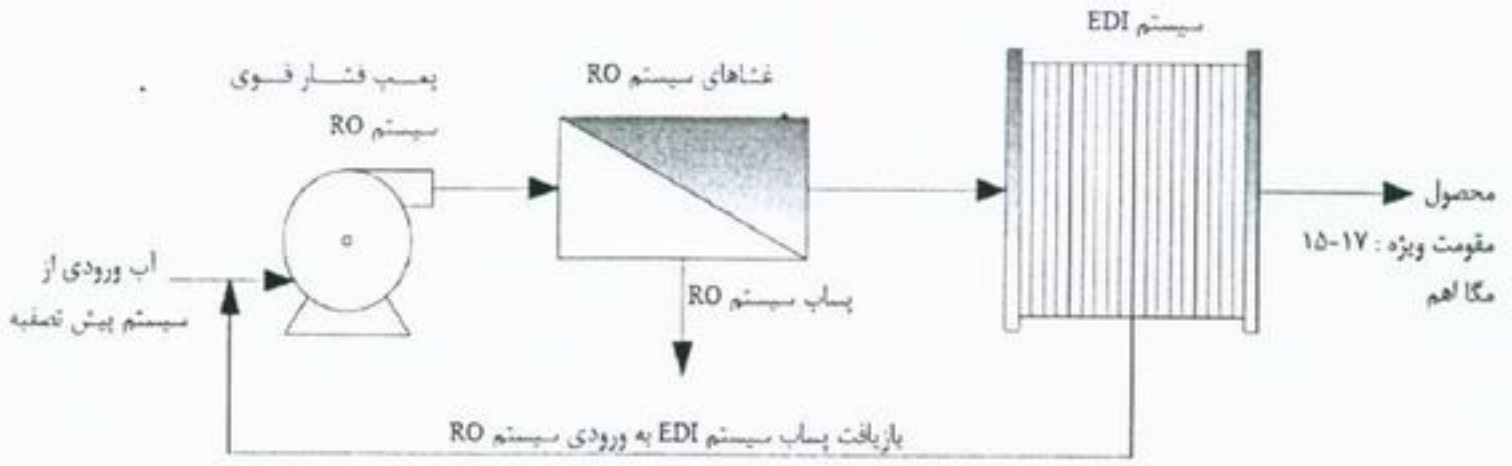
نسبت به سیستمهای تبادل یونی بهره‌برداری از سیستمهای RO و EDI ساده بوده و به نیروی کار کمتری نیاز دارد.

عدم نیاز به تاسیسات خنثی سازی

فرایند RO-EDI تولید جریانهای پساب مخاطره‌آمیز نمی‌نماید و در اغلب موارد پساب سیستم را می‌توان بدون هیچ نوع تصفیه به محیط زیست رها نمود.

در شکل (۲) طرح یک سیستم تهیه آب فوق خالص با استفاده از سیستم اسمز معکوس یک‌بار گذر به عنوان مرحله اصلی کاهش TDS و سیستم EDI به عنوان مرحله نهایی کاهش TDS (مرحله پولیشینگ) نشان داده شده است. با این پیکربندی آب ورودی با TDS تا ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر را می‌توان به طور موثر خالص‌سازی نمود تا آب خالص EDI با مقاومت ویژه ۱۷-۱۵ مگا اهم حاصل گردد.

1-Resin trap



شکل(۲): سیستم تهیه آب فوق خالص با RO/EDI

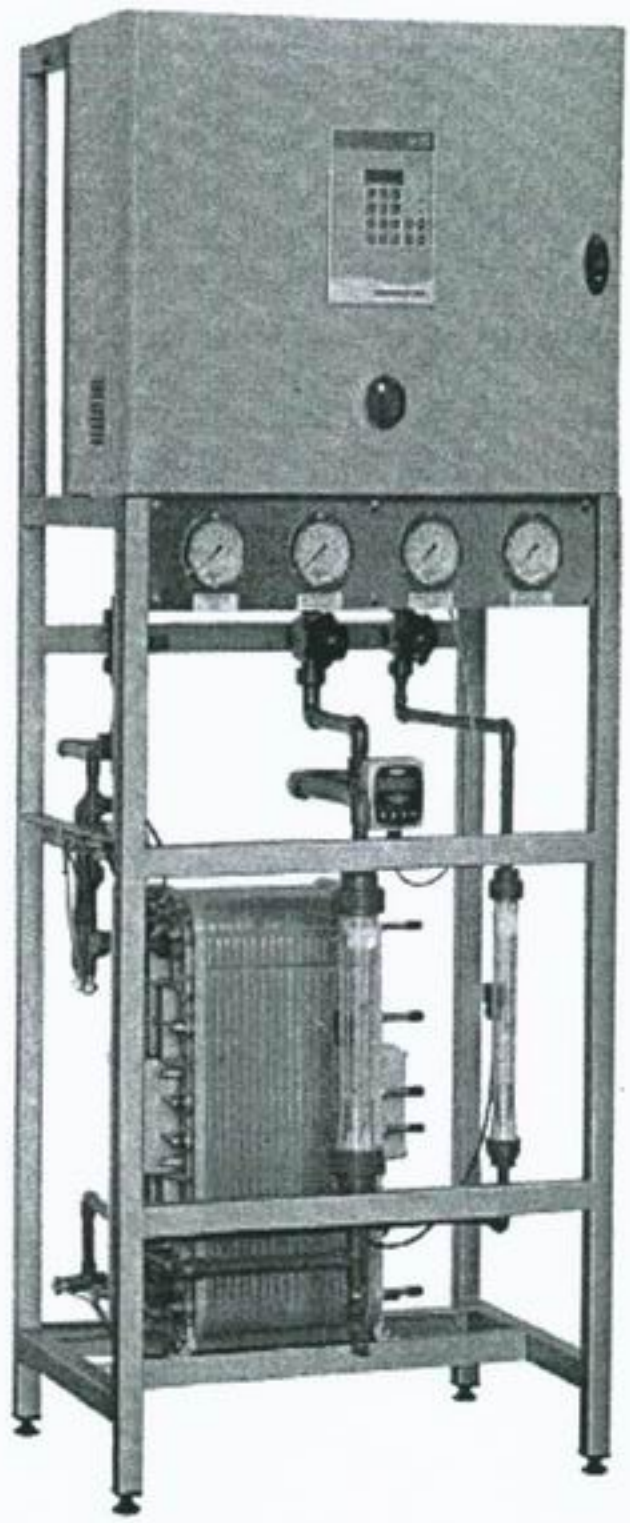
در صورت نیاز به مقاومت بیشتر یک سیستم پولیشینگ مرکب از یک سیستم EDI اضافی یا یک سیستم رزینی، بستر مختلط مورد نیاز می‌باشد. برای بیشتر کاربردها، یونزدایی با سیستم رزینی بستر مختلط به دلایل ذیل روش برتر برای سیستم پولیشینگ است. با وجود آب خالص EDI به عنوان آب ورودی سیستم پولیشینگ DI، نیاز به احیای رزین پولیشینگ عملاً منتفی می‌گردد. کارایی دفع مدول EDI زمانی که هدایت آب ورودی آن خارج از محدوده مشخص ۴-۳۰μS/cm باشد، کاهش می‌یابد.

بازیافت کلی سیستم را می‌توان با بازگرداندن تغلیظ EDI به ورودی RO افزایش داد. با این وجود با بازیافت نوعی ۹۵-۹۰ درصد برای EDI، TDS جریان تغلیظ می‌تواند ۲۰-۱۰ برابر TDS ورودی EDI باشد. این تغلیظ EDI هنوز هم احتمالاً اثر رقیق‌کننده‌ای بر روی آب ورودی سیستم RO دارد.

تصمیم‌گیری برای استفاده از سیستمهای یک‌بارگذر یا دوبارگذر RO به عنوان مرحله پیش‌تصفیه EDI بر این اساس گرفته می‌شود که هدایت آب ورودی EDI در محدوده ۴-۳۰μS/cm برآورده شود. در اغلب کاربردها سیستم RO دوبارگذر آب خالصی با هدایت کمتر از ۴ میکروزیمنس تولید خواهد نمود (نوعاً حدود TDS۱ mg/l). بنابراین سیستم RO دوبارگذر الزاماً به عنوان مرحله پیش‌تصفیه EDI بر سیستم RO یک‌بارگذر مزیتی ندارد. شرایطی وجود دارد که سیستم RO دوبارگذر روش ترجیح داده شده به عنوان مرحله اصلی کاهش TDS می‌باشد. اگر TDS آب ورودی به سیستم RO بیشتر از ۱۰۰۰ mg/l باشد اغلب سیستمهای یک‌بارگذر RO آب خالصی با هدایتی به سمت انتهای بیشتر یا خارج از محدوده ۴-۳۰μS/cm برای ورود به EDI تولید خواهند نمود. با این وجود محدوده ۴-۳۰μS/cm یک رهنمود کلی بوده و ضرورت مطلق نمی‌باشد. برای آبهای ورودی با TDS بیشتر از ۱۰۰۰ سیستم RO دوبارگذر باید در نظر گرفته شود.

بازیافت کلی سیستم با مخلوط نمودن مقداری از آب خالص پاس اول RO با مقداری از آب خالص پاس دوم برای به دست آوردن آب خالصی با TDS بیشتر از سیستم RO دوبارگذر و کمتر از RO یک‌بارگذر، افزایش داد. همچون مورد سیستم یک‌بارگذر RO برای افزایش بازیافت کلی سیستم می‌توان تغلیظ EDI را به جریان ورودی سیستم اسمز معکوس برگشت داد.

شکل (۳) نمونه‌ای از یک سیستم EDI را نشان می‌دهد.



شکل(۳): تصویر یک سیستم EDI نمونه

۴- نتیجه گیری

روش اسمزمعکوس-یونزدایی الکتریکی پیشرفت بزرگی در زمینه تکنولوژی تصفیه آب محسوب می‌گردد. در مقایسه با روشهای سنتی و مرسوم خالص‌سازی آب، این روش آب خالص‌تری تولید نموده و هزینه بهره‌برداری کمتری دارد. این روش ایمن‌تر و همچنین از نظر محیط زیست سازگارتر.از هر نوع تکنولوژی رقیب می‌باشد.

۵- مراجع

1- Water Technology Magazine, August 2001

2- Ultrapure Water®, July/August 2005, Deionization, Part1:A Reviw of Spiral Wound Electrodeionization Technology

3- Ultrapure Watre®,September 2005, Deionization, Part2 : A Comparison Between Spiral Wound and Plate and Frame EDI Technology

4- International Water Conference, Pittsburge, PA, October 22-26, 2000, An Innovative Approach to Continuous Elctrodeionization Module and System Design for Power Applications.

آقای حسین حق پرست دارای فوق لیسانس مهندسی شیمی از دانشگاه صنعتی شریف بوده و جمعاً ۵ سال سابقه کار دارد. ایشان در حال حاضر کارشناس ارشد شیمی دفتر فنی شرکت مدیریت تولید برق یزد می‌باشد. زمینه علاقمندی آقای حق پرست روشهای مختلف تصفیه آب می‌باشد.

hhaghparast@yahoo.com

روش تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی

حسین دانشور

کارشناس عمران – مدیریت ارشد مهندسی شبکه های انتقال و توزیع نیرو

چکیده

در این مقاله ابتدا به بررسی مراحل و چگونگی روش تحلیل استاتیکی غیرخطی، پرداخته و سپس به تشریح روش تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی[1] به عنوان یک تکنیک غیرخطی بسیار کارا و قدرتمند در تخمین تحمل سازه در مقابل زلزله پرداخته می شود. در خاتمه، به عنوان نمونه نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی سه قاب خمشی بتن مسلح به سه سطح شکل پذیری کم، متوسط و زیاد ارائه شده است.

۱- مقدمه

همانطور که از نام روش استاتیکی غیرخطی مشخص است این روش نوعی روش تحلیل سازه می باشد که اولاً بارگذاری در آن وابسته به زمان نبوده و ثانیاً رفتار واقعی سازه و مصالح (رفتار غیرخطی) در آن لحاظ شده است. همانطور که می دانیم در رفتار غیرخطی دو مسأله مد نظر قرار می گیرد: اول رفتار غیرخطی مصالح که در آن رفتار واقعی مصالح مدلسازی می شود، به عبارت دیگر تنها قسمت اول منحنی رفتار مصالح که در آن رابطه خطی بین نیرو – تغییر مکان و یا ممان – انحنا وجود دارد لحاظ نشده است بلکه اجازه ورود به قسمتهای غیرخطی رفتار مصالح داده می شود. دوم رفتار غیرخطی هندسه می باشد که در آن تغییر شکلهای بزرگ لحاظ می شود. همچنین اثر $p\text{-}\Delta$ نیز در تغییر شکلهای سازه لحاظ می گردد. بنابراین تحلیل استاتیکی غیرخطی درکی بهتر و یک پیش بینی درست تر از رفتار سازه، حین وقوع زلزله‌های شدید، در اختیار مهندس طراح قرار می‌دهد و کاربرد اساسی در روشهای طراحی براساس عملکرد (به خصوص روش طیف ظرفیت) دارد. به طور کلی، روشهای تحلیل غیرخطی، هنگامی مناسب هستند که رفتار اجزاء سازه هنگام زلزله در محدوده غیرخطی قرار داشته باشد و یا تعداد زیادی از اجزاء، از حد خطی خارج شوند. چنانچه نسبت نیروهای ناشی از زلزله به ظرفیت باربری اجزاء بزرگتر از ۲ باشد، اثر رفتار غیرخطی قابل توجه بوده و می‌توان از روشهای غیرخطی استفاده نمود.

۲- مراحل انجام یک تحلیل استاتیکی غیر خطی

روش کلی برای انجام یک تحلیل استاتیکی غیر خطی به شرح ذیل می‌باشد:

۲-۱- توسعه یک مدل سازی ارتجاعی، به طوری که شامل تمام اجزای سازه ای و غیر سازه‌ای موثر در وزن، مقاومت، سختی و پایداری سازه باشد که رفتارشان در ایجاد سطح مطلوب عملکرد لرزه ای مهم است. سازه قبل از اعمال بارهای جانبی با بارهای ثقلی و ترکیب بار مشابه روش های خطی بارگذاری می شود.

۲-۲- به سازه گروهی از بارهای جانبی بطور فزاینده (با استفاده از الگوهای بار توضیح داده شده در بخش بعد) اعمال می شود. حداقل دو تحلیل با الگوهای بار متفاوت، در هر دو جهت اصلی باید انجام شود.

۲-۳- افزایش شدت بار جانبی ادامه می یابد تا ضعیف ترین عضو به تغییر شکلی برسد که در آن سختی عضو بطور قابل توجهی عوض می شود (بار تسلیم یا مقاومت عضو) مشخصات سختی

1- Push Over

عضو تسلیم شده در مدل سازه ای (جهت باز تاب رفتار پس از تسلیم) اصلاح می شود و سازه اصلاح شده، با استفاده از الگوی توزیع بار جانبی قبلی با سختی اصلاح شده مجدداً تحت افزایش بارهای جانبی قرار می گیرد.

اصلاح رفتار اعضای تسلیم شده به یکی از روشهای ذیل انجام می شود:

۲-۳-۱- در نظر گرفتن یک مفصل در محلی که عضو خمشی به مقاومت تسلیم خود رسیده است. این محل ممکن است در انتهای تیر یا ستون و یا پایهٔ دیوار برشی باشد.

۲-۳-۲- حذف سختی برشی دیوار برشی که به مقاومت برشی خود (در یک طبقهٔ بخصوص) رسیده است.

۲-۳-۳- حذف عضو باد بندی که کمانش کرده و مقاومت پس از کمانش آن با یک نرخ سریع رو به کاهش است.

۲-۳-۴- اصلاح خصوصیات سختی عضو اگر آن عضو توانایی تحمل بار بیشتر را با یک سختی کاهش یافته داشته باشد.

۲-۴- گام (۳) تکرار می شود تا اعضای بیشتری به مقاومت تسلیم خود برسند. شایان ذکر است که با وجود افزایش شدت بار گذاری بصورت تدریجی، الگوی بار برای تمامی مراحل بار گذاری، ثابت باقی می ماند. مگر آنکه کاربر تصمیم به اعمال یک الگوی بار سازگار داشته باشد.

۲-۵- نیروها و تغییر شکل ها از تمام مراحل قبل از بارگذاری جمع می شوند تا نیروها و تغییر شکل های نهایی (ارتجاعی و غیر ارتجاعی) تمام اعضا مربوط به تمام مراحل بارگذاری به دست آید.

۲-۶- عملیات بارگذاری ادامه می یابد تا عملکرد قابل قبولی مشاهده شود و یا تغییر مکانی در گره کنترل حاصل شود که از حداکثر تغییر مکان مورد انتظار در زلزله طرح بیشتر باشد.

۲-۷- تغییر مکان گره کنترل در برابر برش پایه در مراحل مختلف بار گذاری، به عنوان نمودار نشان دهنده پاسخ غیر خطی سازه، رسم می‌شود. تغییرات در شیب این منحنی نشان دهندهٔ تسلیم اعضای مختلف سازه است.

۲-۸- از منحنی تغییر مکان گره کنترل در برابر برش پایه، برای تعیین تغییر مکان هدف استفاده می شود. شایان توجه است که این مرحله، در صورت حساس بودن مقاومت تسلیم و سختی رابطه ساده شدهٔ دو خطی به تغییر مکان هدف، ممکن است نیاز به سعی و خطا داشته باشد.

۲-۹- وقتی تغییر مکان هدف مشخص شد، نیروهای تجمعی و تغییر شکل ها، در این تغییر مکان گرهٔ کنترل، باید برای ارزیابی رفتار اعضا مورد استفاده قرار بگیرد.

۲-۱۰- هنگامی که نیروی مورد نیاز در رفتار اجزاء و المان ها، در حالیکه نیرو کنترل کننده است، از مقدار مجاز تجاوز کند و یا تغییر مکان مورد نیاز در رفتار، اجزا، و المان ها در حالیکه تغییر مکان کنترل کننده است، از مقدار مجاز تجاوز کند، اجزا، و المان ها معیار اجرایی را به هم زده و از محدودهٔ عملکردی تجاوز کرده اند. همانگونه که در گام اول تحلیل به روش غیر خطی اشاره شد، ابتدا بارهای ثقلی بر سازه اعمال شده سپس بارهای جانبی به مجموعه بارها اضافه می شود. علت این امر آن است که در سازه غیرخطی اصل جمع آثار بطور کلی معتبر نمی باشد. لذا برای هر ترکیب بارگذاری، لازم است تحلیل سازه از ابتدا و بطور کامل انجام شود. بنابراین بارهای ثقلی باید همزمان با بارهای جانبی به سازه اعمال شوند. به علاوه در تیرهای با دهانه بلند یا تیرهای تحت بارهای ثقلی بزرگ ممکن است مفصل خمیری در نقطه ای غیر از دو انتها ایجاد گردد. از آنجا که به این ترتیب موقعیت مفصل خمیری تابع بار ثقلی می شود، لازم است بارهای ثقلی همزمان با بارهای جانبی بر سازه اعمال شوند تا جابجایی مفصل خمیری در اثر بارهای ثقلی در تحلیل تحت بارهای جانبی منظور گردد.

۳- بررسی تحلیلی استاتیکی فزاینده غیر خطی

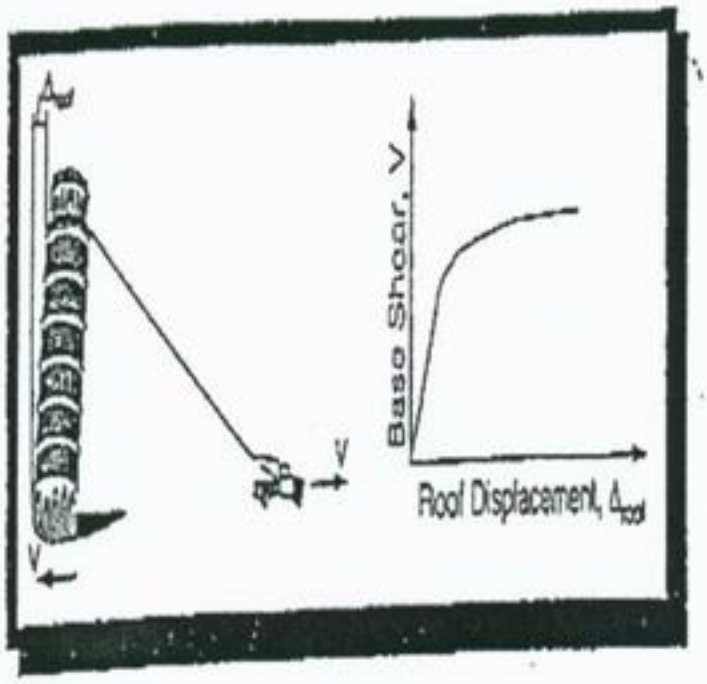
تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی، یک تکنیک تحلیل غیر خطی ساده شده است که می تواند برای تخمین نیازهای دینامیکی تحمیل شده به سازه در اثر زلزله مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۱- هدف از تحلیل استاتیکی فزایندهٔ غیر خطی

هدف از این تحلیل، ارزیابی عملکرد مورد انتظار از سیستم سازه ای با تخمین نیازهای مقاومت و تغییر شکل آن در زلزله طرح توسط یک تحلیل استاتیکی غیر خطی و مقایسهٔ این نیازها با ظرفیت های دردسترس در سطوح عملکرد مورد نظر می باشد. ارزیابی توسط پارامترهای مهم عملکرد، از قبیل تغییر شکل کلی سازه، تغییر شکل های بین طبقات، تغییر شکل غیر خطی اعضا، تغییر شکل بین المان ها و نیروهای اتصالات (برای اعضا و اتصالاتی که نمی توانند تغییر شکل های غیر ارتجاعی را تحمل کنند.) انجام می شود. تحلیل استاتیکی فزایندهٔ غیر خطی می تواند به عنوان یک روش برای پیش بینی نیازهای تغییر شکل و نیروهای لرزه ای معرفی شود که بصورت تخمینی، توزیع نیروهای داخلی بوجود آمده در اعضای سازه ای را محاسبه می کند. هنگامی سازه تحت نیروهای اینرسی قرار می گیرد که دیگر قادر به باقی ماندن در محدوده رفتار ارتجاعی نیست.
از تحلیل فزاینده غیر خطی استاتیکی انتظار می رود اطلاعاتی از مشخصات پاسخ را در اختیار قرار دهد که نمی توان آنها را از تحلیل ارتجاعی استاتیکی و دینامیکی بدست آورد.

۳-۲- روش انجام تحلیل Pushover

منحنی ظرفیت سازه، به عنوان نموداری که محور قائم آن را برش پایه و محور افقی آن را تغییر مکان بالاترین نقطه سازه تشکیل می دهد، معرفی می شود (شکل ۱).



شکل (۱) : انجام تحلیل Pushover

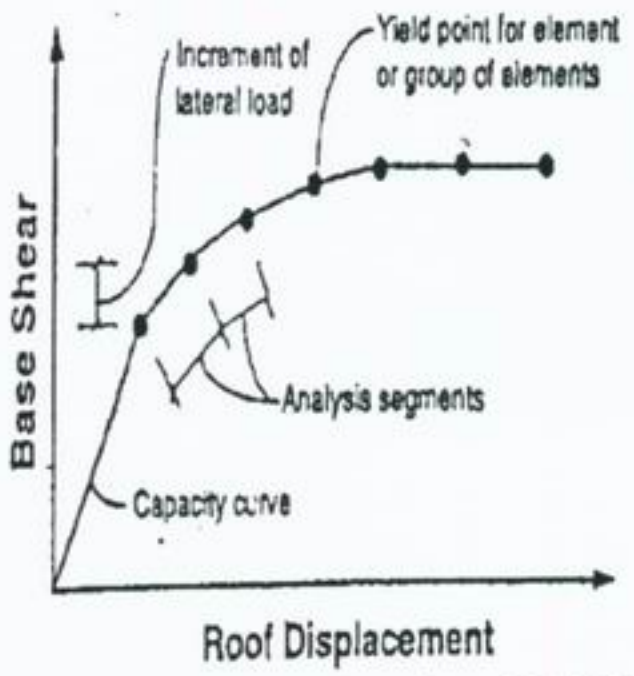
با استفاده از برخی برنامه ها که رفتار غیر خطی سازه در آنها قابل مدلسازی است می توان این منحنی را مستقیماً بدست آورد.
گام های انجام یک تحلیل فزاینده غیرخطی را می توان بصورت ذیل بیان نمود:
۱- ایجاد یک مدل ریاضی از سازه.
۲- اعمال نیروی جانبی ناشی از زلزله به طبقات. در این مرحله گزینه های مختلفی برای نحوه اعمال نیروی جانبی پیش روی مهندس محاسب قرار دارد. به عنوان نمونه می توان روش های زیر را ذکر کرد:

- اعمال نیروی جانبی متمرکز برنوک سازه (عموماً برای سازه‌های با یک درجه آزادی)
- اعمال نیروی جانبی بدست آمده از روش شبه دینامیکی آیین نامه‌ای بدون تأثیر دادن نیروی شلاقی در بالا.
- اعمال نیرو به صورت حاصلضرب جرم طبقه در شکل مود اول الاستیک

$$F_x = \frac{\varphi_x W_x}{\sum \varphi_x W_x}.V \qquad (۱)$$

متداول ترین روش برای انجام تحلیل طیف ظرفیت، بدست آوردن نیروی جانبی طبقات از حاصلضرب جرم طبقه در شکل مود اول الاستیک است.

۳- تنظیم بار جانبی تا جایی که عضوی از سازه (یا گروهی از اعضاء) به تنش حد الاستیک خود برسد.
۴-ثبت برش پایه و تغییر مکان انتهایی و نیروهای سایر اعضاء.
۵- بازسازی مدل با فرض سختی صفر (یا بسیارکم) برای اعضای جاری شده.
۶- افزایش بار جانبی، تا اعضای دیگر از مدل بازسازی شده، جاری گردند. در واقع نیرو و تغییر شکل حقیقی اعضاء در ابتدای هر مرحله برابر با مقادیر انتهایی مرحله قبل است. برای تعیین المان‌های جاری شده در مرحله آخر و همچنین تغییر مکان های مربوطه، باید نیروها و تغییر شکل های ناشی از مرحلهٔ قبل به نتایج مرحله بعد افزوده شوند.
۷- محاسبه برش پایه و تغییر مکان انتهایی با افزودن مقادیر این مرحله به مجموع مقادیر مراحل قبل.
۸- تکرار مراحل ۵، ۶ و۷ تا هنگامی که سازه به یک تغییر شکل از پیش تعیین شده برسد؛ یا تحت اثرات $p\text{-}\Delta$ ناپایدار گردد، یا عضوی (گروهی از اعضاء) تغییر شکل قابل ملاحظه ای دهد که باعث کاهش شدید ظرفیت باربری ثقلی شود. پس از انجام این مراحل، همانگونه که در شکل (۲) مشخص است، امکان رسم منحنی ظرفیت سازه وجود دارد.

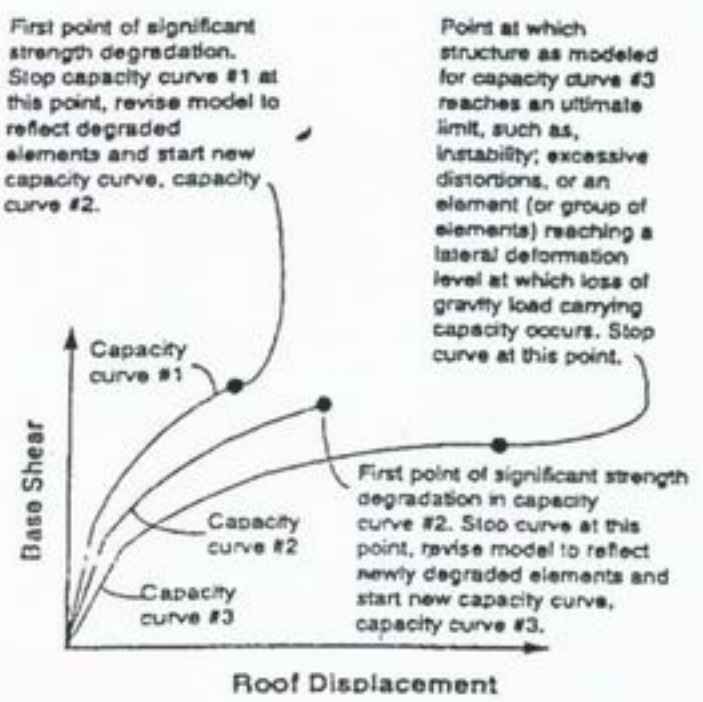


شکل (۲) : قسمتهای مختلف منحنی ظرفیت سازه

در واقع روش تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی روشی مبنی بر در نظر گیری تغییر شکل های ناشی ازمود اول حرکت سازه است. این امر در سازه های کوتاه یا سازه های دارای پریود کم، قابل قبول است اما در سازه های با پریود بالا یا بطور کلی سازه هایی که در مودهای بالاتر، اثرات قابل توجهی دارند، نقص روش، آشکار است. در واقع با در نظر گرفتن مودهای بالاتر در مرحله (۲) از مراحل ذکر شده تا حدی می توان این اشکال را برطرف نمود اما در عین حال بین انجام یک تحلیل استاتیکی و در نظر گرفتن مودهای بالاتر که نیازمند یک تحلیل مودال دینامیکی است، تناقض بوجود خواهد آمد. هم اکنون تحقیقاتی برای چگونگی نحوه تأثیر مودهای بالاتر توسط افراد مختلف انجام شده یا در حال انجام است که بحث در باره آنها در محدوده این پژوهش نیست.

نکته دیگری که می توان از آن به عنوان یکی از نقاط ضعف روش تحلیل استاتیکی فزاینده خطی نام برد، در نظر نگرفتن تغییر سختی سازه در اثر جاری شدن برخی اعضاء در هر مرحله، در شکل مود اول آن است. در واقع در هر مرحله از اعمال نیرو، به علت جاری شدن برخی اعضاء سختی کل سازه تغییر می نماید و این امر باعث تغییر در ویژگیهای مودال سازه می گردد. این موضوع را نیز می توان در مرحله (۲) مد نظر قرار داد اما اعمال آن، نیاز به تحلیل مودال در هر مرحله از اعمال نیرو دارد و در نتیجه با سادگی مورد انتظار از یک روش استاتیکی در تناقض خواهد بود. در صورتی که اعضای سازه ای تمام یا قسمت عمده ای از توانایی باربری جانبی خود را از دست بدهند، اما هنوز بدون تاثیرات غیر قابل انتظار دیگر در باربری ثقلی سازه، قادر به تغییر شکل باشند، می توان به نحو متفاوتی منحنی ظرفیت سازه را رسم کرد. در این صورت پس از مرحله اول تعیین منحنی ظرفیت،

مدل سازی سازه با حذف سختی المان مورد نظر کاملاً بازسازی شده و منحنی ظرفیت جدیدی از مبدأ رسم می گردد. این امر تا جایی که سازه به حد تغییر شکل تعیین شده در مرحله (۸) برسد، ادامه می‌یابد. روش انجام این کار در شکل (۳) مشخص است.



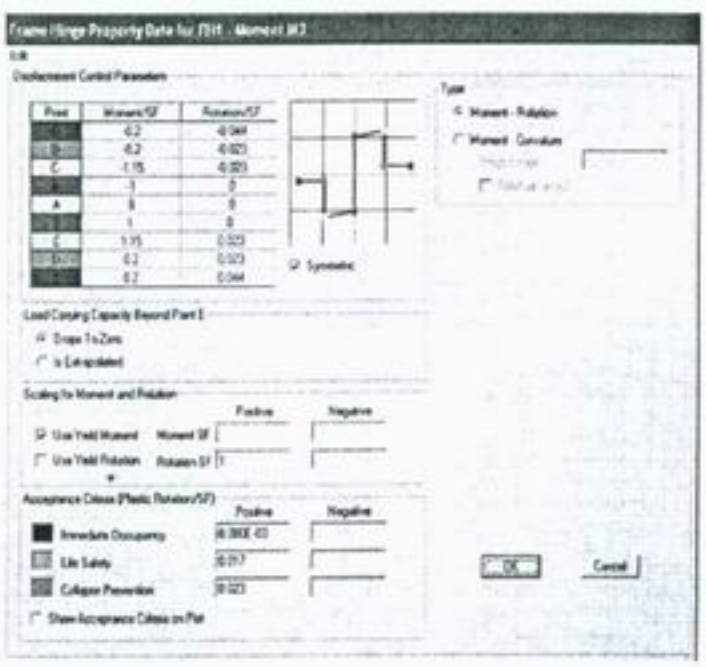
شکل (۳) : نحوه ترمیم منحنی ظرفیت سازه

توصیه شده است که بار جانبی به تدریج افزایش یابد تا تغییر مکان نقطه کنترل به ۱/۵ برابر تغییرمکان هدف برسد. علت انتخاب ضریب ۱/۵ آن است که طراح، عملکرد سازه را در تغییر شکلهای بیش از تغییر مکان هدف بشناسد، زیرا تغییر مکان هدف و مدل غیر خطی بکار گرفته شده، می تواند دارای خطای زیادی باشد. هنگامیکه طراح نسبت به عملکرد سازه در محدودهٔ وسیع تری از تغییر شکل ها آشنایی داشته باشد، حساسیت نتایج را به خطاهای فوق می تواند تحت کنترل داشته باشد [۱] و [۲].

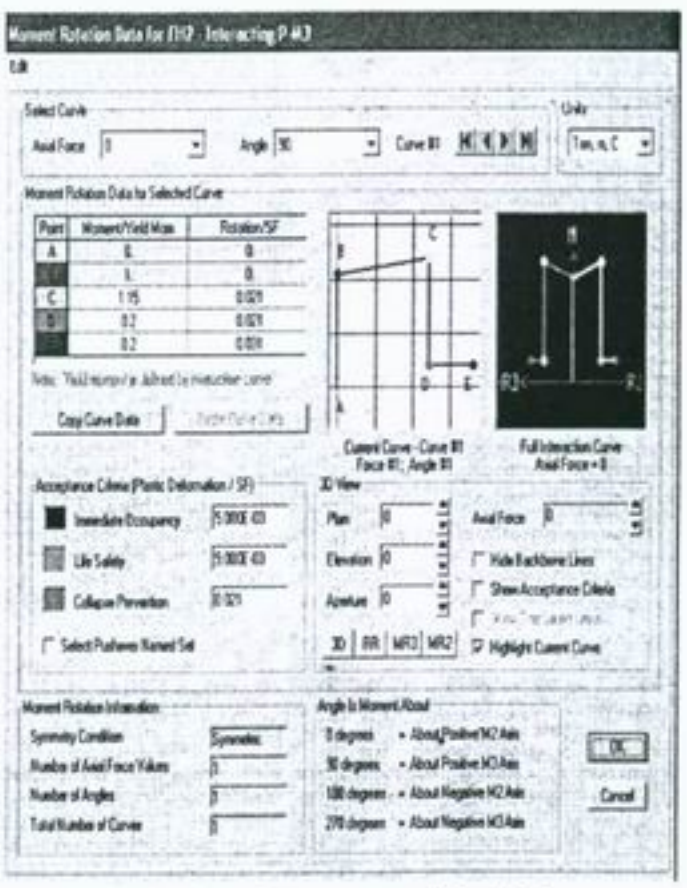
۳-۳- آنالیز استاتیکی غیرخطی به کمک نرم افزار Sap 2000

روند انجام کار تا قبل از انجام آنالیز Pushover دقیقا مانند حالت انجام تحلیل خطی و طراحی است، به این ترتیب که مدلسازی با تعریف هندسه، بارمصالح، اعضا، مراکز جرم، قیود و تکیه گاهها و بارگذاری و ترکیبات بار و نسبت دادن موارد فوق به سازه هستند که انجام می گیرد. سپس تحلیل خطی برای به دست آوردن نیروهای داخلی اعضا انجام شده و بر مبنای آنها طراحی اعضا صورت می گیرد. تا اینجا تنها تفاوت روند کار این است که بایستی در مرحله تعریف عناصر، مفاصل پلاستیک نیز تعریف و در مرحله نسبت دادن به اعضای مورد نظر در قسمتهای مورد نیاز نسبت داده شود.

در نرم افزار Sap 2000 تعریف مفاصل در جعبه های محاوره ای به صورت شکل‌های (۴) و (۵) می باشند.



شکل (۴) : جعبه محاوره ای تعریف مفاصل در تیرها



شکل (۵) : جعبه محاوره ای تعریف مفاصل در ستون ها

مفاصل نسبت داده شده به تیرها از نوع خمشی (M) و مفاصل نسبت داده شده به ستونها از نوع اندرکنش خمش و نیروی محوری (P-M برای خمش تک محوره و P-M-M برای خمش دو محوره) می باشد. همانطورکه در شکل بالا دیده می شود، منحنی شماتیک رفتار غیرخطی مصالح که در fema 356 و ATC40 نیز آمده است، با ارائه مختصات کلیه نقاط آن به دست می آید. به صورت پیش فرض نرم افزار، مقادیر (ممان حد جاری شدن و Θ نظیر آن) محورهای قائم و افقی این منحنی را به ترتیب با تقسیم کردن بر مقادیر My و Θy مقاطع طراحی شده، به دست می آورد. همچنین در این جعبه محاوره ای می توان مقادیر M و Θy واقعی (نرمالیزه) را به مفاصل پلاستیک نسبت داد [۳].

۳-۴- مثال برای درک بهتر مطلب

به عنوان مثال، قابهای ۵ طبقه بتن مسلح با مقاطع زیل در سه سطح مختلف شکل پذیری مدلسازی و طراحی شده اند. همانطور که ذکر شد، امروزه نرم افزارهای متعددی آنالیز Pushover را انجام می دهند. نرم افزارهای ذکر شده را می‌توان در سه دسته کلی طبقه بندی کرد:

دسته اول نرم افزارهای تحقیقاتی می‌باشد که توسط دانشگاههای معتبر توسعه یافت به عنوان مثال نرم افزار Opensees توسط محققین دانشگاه برکلی، و نرم افزار IDARK (نسخه دو بعدی و سه بعدی) توسط محققین دانشگاه بوفالو توسعه پیدا کرده‌اند.

دسته دوم نرم افزارهای تجاری می‌باشند که توسط کمپانی‌های بزرگ تهیه می‌شوند و در مقیاس تجاری به فروش می‌رسند و معروفترین آن نسخه غیر خطی نرم افزارهای SAP و ETABS می‌باشد.

دسته سوم در واقع تلفیقی از دو گروه نرم افزار ذکر شده می‌باشد به این معنی که هم در کارهای تحقیقاتی و هم در کارهای حرفه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. از میان این دسته، نرم افزارهای DRAIN تا حدی و نرم افزار قدرتمند PERFORM قابل ذکر می‌باشند.

در این قسمت ابتدا به شرح مختصر روش آنالیز استاتیکی غیرخطی نرم افزار Sap 2000 پرداخته می شود و سپس به عنوان نمونه نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی سه قاب بتن مسلح در سه سطح مختلف شکل پذیری پرداخته می شود.

جدول(۱) : طراحی سازه های مورد بررسی در حالتهای (الف): قاب خمشی ویژه (ب): قاب خمشی متوسط، (ج): قاب خمشی معمولی

قاب خمشی ویژه						
تیر	ابعاد	تعداد آرماتور در بالا	تعداد آرماتور در پایین	ستون	ابعاد	تعداد آرماتور
B1	35×30	4	2	C1	55×55	20
B2	35×30	5	3	C2	55×55	16
B3	35×30	5	2	C3	50×50	16
B4	35×30	4	2	C4	50×50	12
				C5	45×45	8

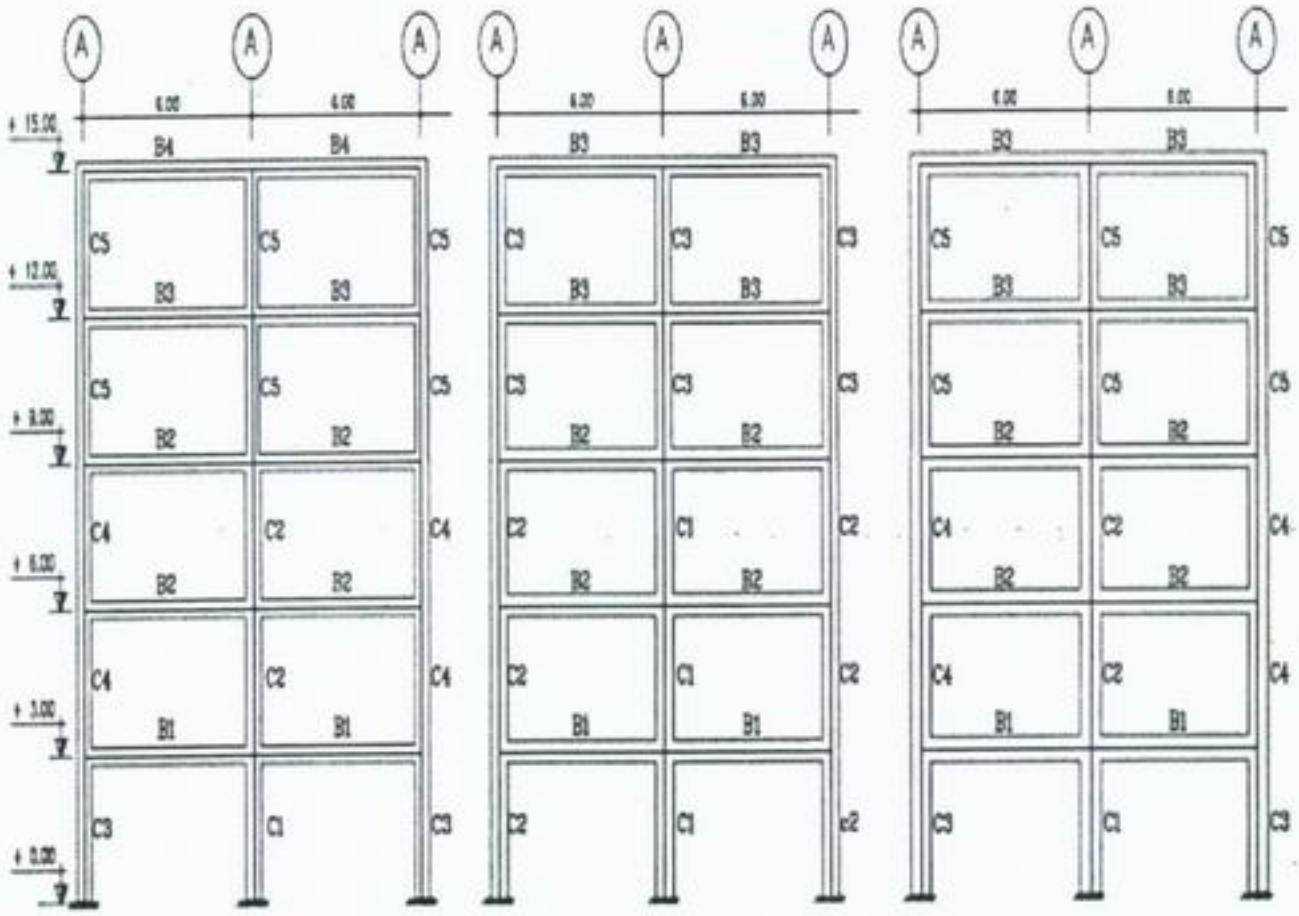
(الف)

قاب خمشی متوسط					
تیر	ابعاد	تعداد آرماتور در بالا	تعداد آرماتور در پایین	ستون	ابعاد	تعداد آرماتور
B1	45×40	4	2	C1	65×65	16
B2	45×40	5	2	C2	60×60	12
B3	40×30	4	2	C3	55×55	12

(ب)

قاب خمشی معمولی					
تیر	ابعاد	تعداد آرماتور در بالا	تعداد آرماتور در پایین	ستون	ابعاد	تعداد آرماتور
B1	50×40	4	2	C1	75×75	24
B2	50×40	5	3	C2	75×75	20
B3	45×35	4	2	C3	70×70	24
				C4	70×70	20
				C5	65×65	20

(ج)

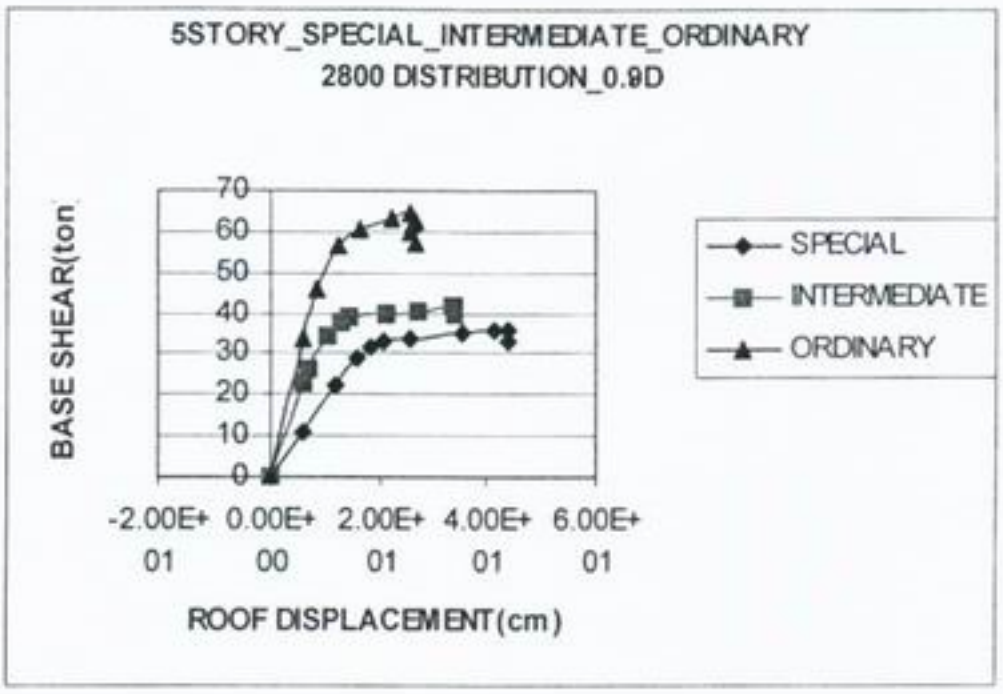


(الف) (ب) (ج)

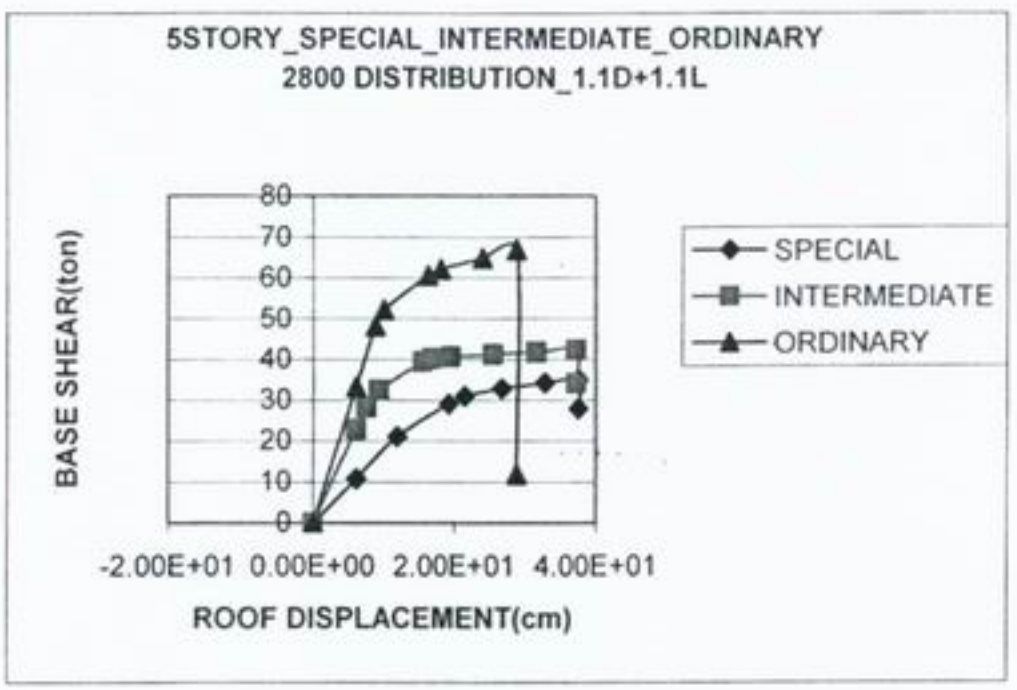
شکل (۶) : تیپ بندی سازه های مورد بررسی در حالتهای (الف): قاب خمشی ویژه (ب): قاب خمشی متوسط (ج): قاب خمشی معمولی

پس بنابراین بعد از طراحی سازه، اصطلاحاً سازه را تحت اثر بارهای جانبی، push می کنیم.

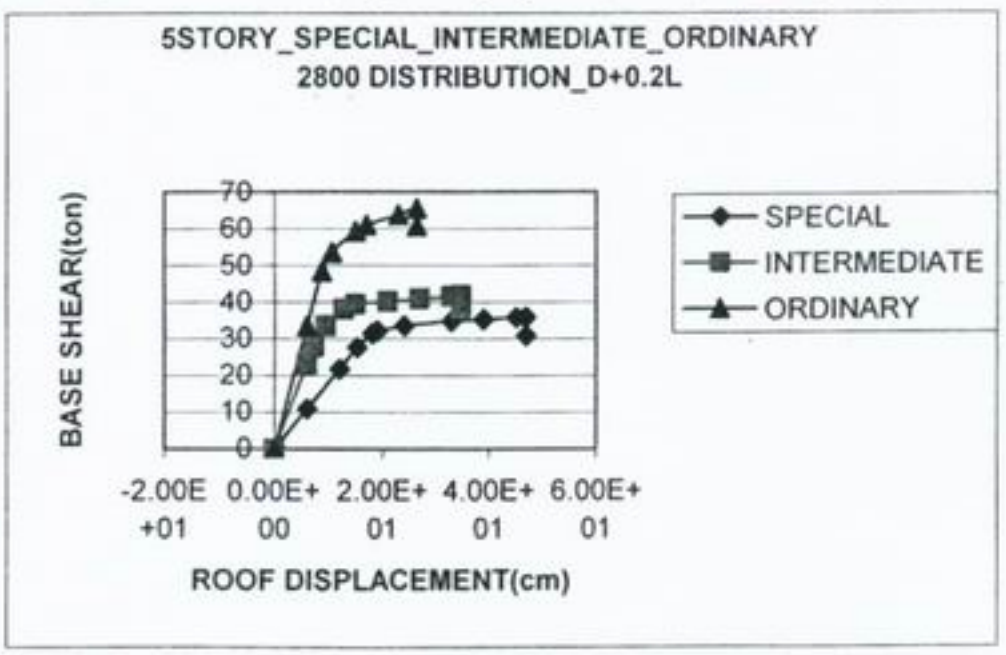
نتایج به شرح ذیل در شکلهای (۷- الف) الی (۷- هـ) می باشند:



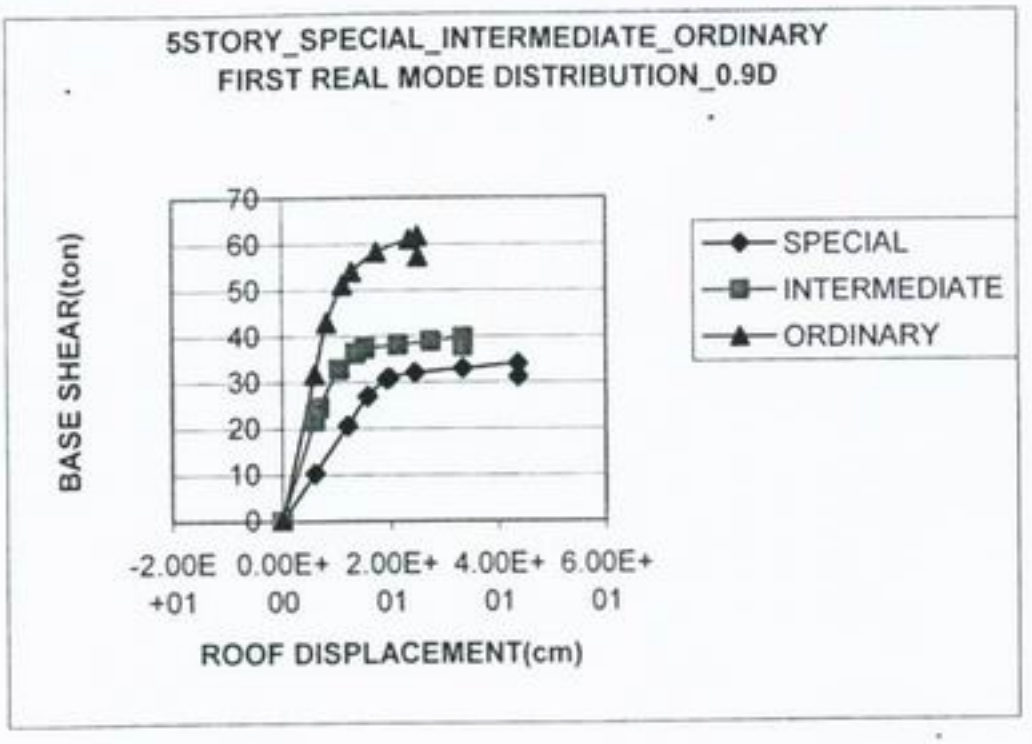
شکل (۷- الف)



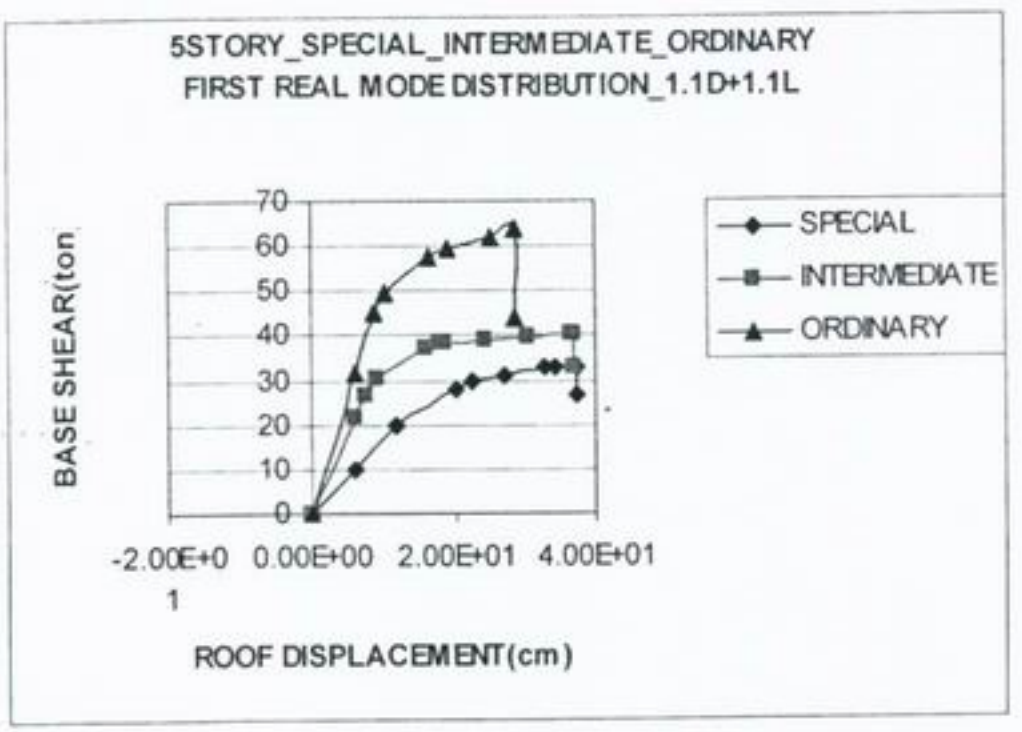
شکل (۷- ب)



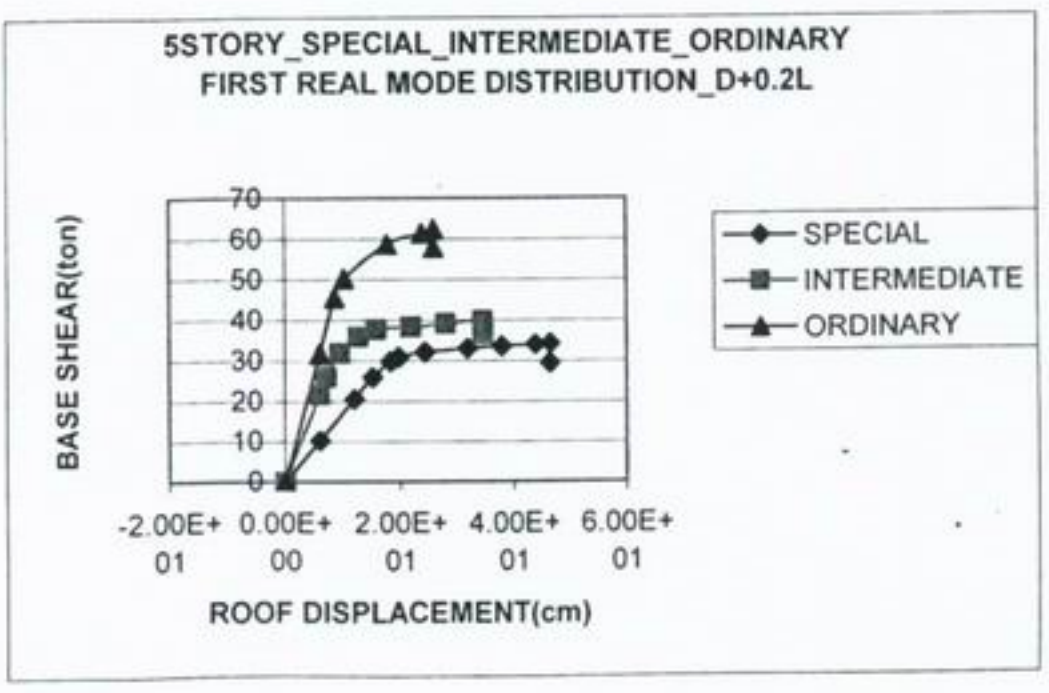
شکل (۷- ج)



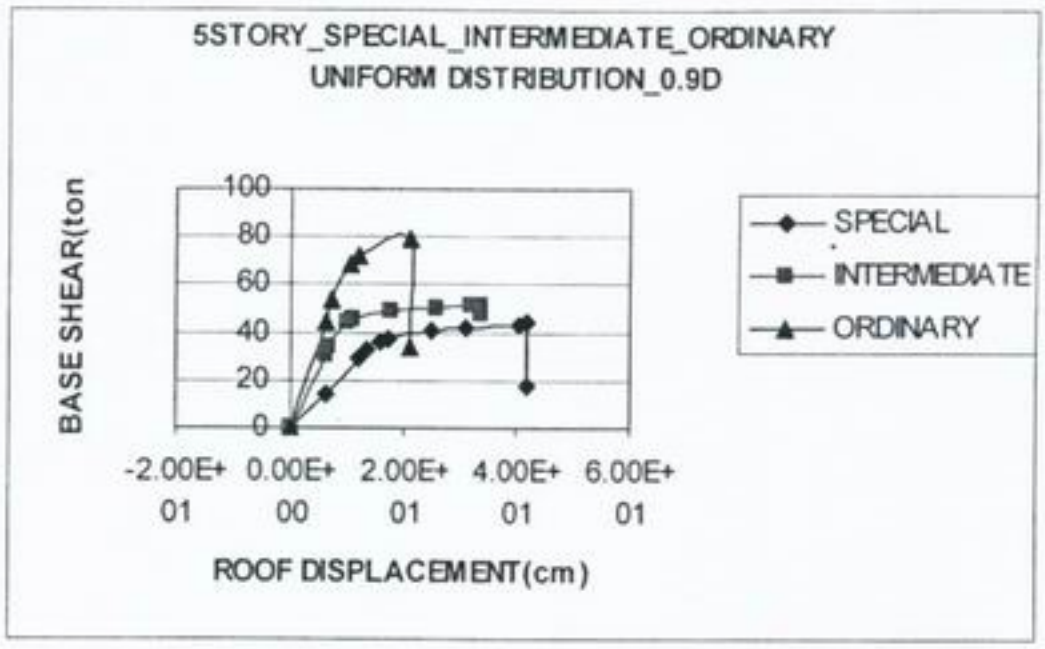
شکل (۷- د)



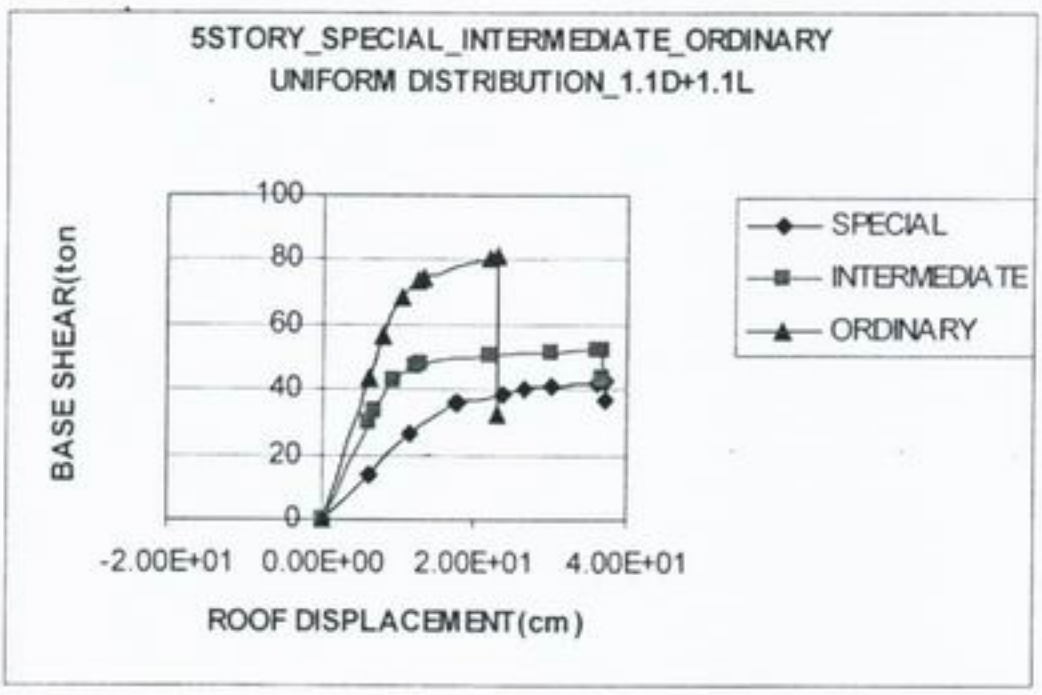
شکل (۷- ر)



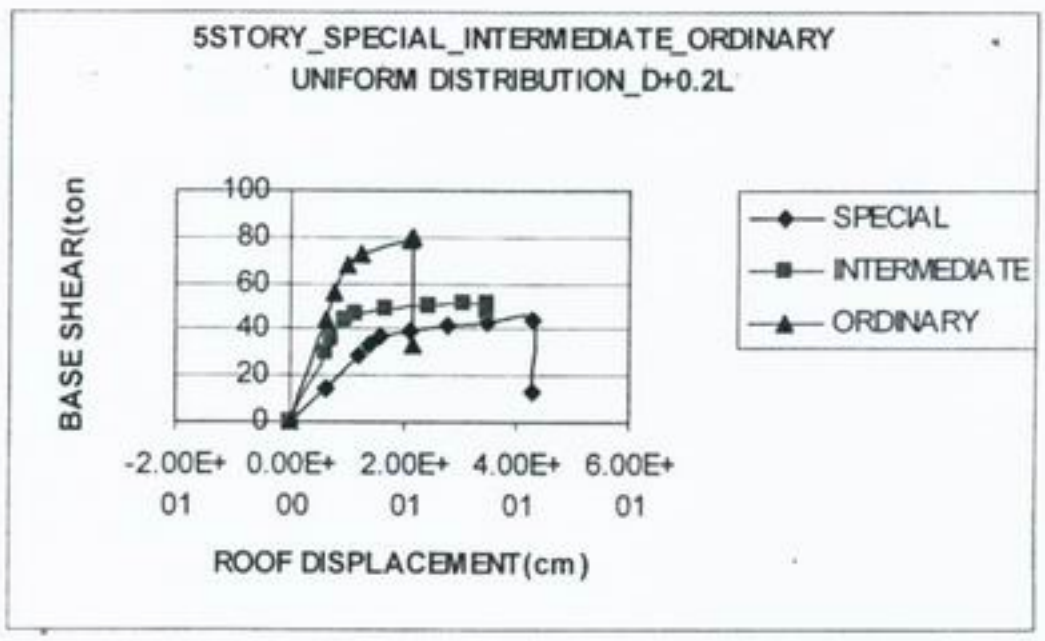
شکل (۷- ز)



شکل (۷- س)



شکل (۷- ش)



شکل (۷- هـ)

شکل (۷) :مقایسه بین منحنی های ظرفیت قابهای خمشی ویژه ، متوسط و معمولی برای حالتهای مختلف توزیع بار جانبی به ازای بارگذاری های ثقلی متفاوت

همانطور که مشاهده می شود سازه با شکل پذیری کم قادر به تحمل برش پایه بیشتر اما تغییر شکل های کوچکتر می باشد. به دلیل اینکه در این مقاله تنها به خود روش تحلیل Pushover پرداخته شده است از بحث بیشتر در این مورد خودداری می شود.

۴- نتیجه گیری

مواردی که در انجام یک تحلیل استاتیکی غیرخطی فزاینده مورد توجه هستند به صورت خلاصه بشرح ذیل می‌باشند:

- عدم تقارن سازه در جهت اعمال بار از نظر اجزای سازه ای، مدل ریاضی، گره کنترل، بار گذاری ثقلی، الگوی بار جانبی، تعیین پریود، و تحلیل مدل.

۵- مراجع

1- ATC, 1996, Methodology for Evaluation and Upgrade of Reinforced Concrete Buildings, Report No.ATC-40, California Seismic Safety Commission, Sacramento, California

2- FEMA, 1997, NEHRP uidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings, Report No. FEMA-273,Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

3- SAP2000 Manual, 2005 , ®Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three Dimensional Structures , Berkeley, California 94704 USA

آقای حسین دانشور دارای کارشناسی ارشد مهندسی عمران (گرایش سازه) از دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و ۶ سال سابقه کار دارد که یک سال آن در قدس نیرو می‌باشد. زمینه علاقمندی ایشان طراحی براساس عملکرد سازه‌های بتنی و فولادی، اصول و مبانی بهسازی لرزه‌ای و کمانش تیر ورقها و عملکرد تیرهای عمیق و طراحی فونداسیون سازه‌های خاص می‌باشد.

Email: Hdanesvar@Ghods- niroo.com

انواع خوردگی در پمپها و شیرآلات و ملاحظات لازم جهت حفاظت از خوردگی

ساناز اسدکرمی

کارشناس متالورژی – مدیریت ارشد مهندسی صنایع نیروگاهی

چکیده

انتخاب مواد در پمپها و شیر آلات از مهمترین نکاتی است که در طراحی و کاربرد آنها مورد توجه قرار می گیرد. در این مقاله سعی شده شرح کاملی از انواع خوردگی در پمپها و شیر آلات و مشکلات ناشی از آن به همراه ذکر عوامل تشدید کننده این مسائل آورده شود. در ادامه ملاحظات لازم و طراحی مناسب برای حفاظت از خوردگی، مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت، اطلاعات مورد نیاز جهت جلوگیری از خوردگی قطعات در زمان سرویس دهی بیان شده است.

۱- مقدمه

پمپها و شیرآلات با توجه به قابلیتهای مکانیکی وکارایی در محدوده فشار، ظرفیت آبدهی و آب بندی جریان، طراحی و انتخاب می شوند. سازندگان، محصولات خود را به دلایل اقتصادی در محدوده خاصی از مواد اولیه انتخاب می کنند. هر یک از این مواد برای نوع خاصی از سیال کاربرد دارند و اولویت انتخاب هر نوع بر اساس قابلیت دسترسی سریع وقیمت تمام شده می باشد.

با این وجود برای سیالات خورنده و یا ساینده ممکن است نیاز به طراحی خاصی باشد که مستلزم زمان و هزینه بیشتری است. در حالت کلی در طراحی و انتخاب مواد برای پمپها و شیر آلات با توجه به نوع کاربرد و حساسیت قطعات، باید توازن مناسب بین قیمت تمام شده و کیفیت خوردگی مواد مصرفی صورت پذیرد.

به طور مثال در پمپ آتش نشانی به دلیل حساسیت بالای این سیستم، مواد باید به درستی و با ضریب ایمنی بالا انتخاب شوند. در صورت استفاده از مواد خارج از استاندارد در پمپها و شیر آلات باید به این نکته توجه داشت که اجزایی که در ارتباط با سیال هستند معمولا به صورت ریختگی تهیه می شوند و باید از کیفیت ساخت بالایی برخوردار باشند.

به عنوان مثال برای اجزایی چون میله های گرداننده[1]، شیرآلات وشافتهای پمپ آلیاژهای کاملاً کارشده[2] مورد استفاده قرار می گیرند، زیرا با وجود دسترسی آسان به آلیاژ ریختگی خواص مورد انتظار طراح از نظر استحکام تامین نمی شود.

برای مثال آلیاژ فسفر _ برنز (BS 1400; CT1) که معمولاً در ساخت پره پمپها کاربرد دارد، به ندرت در بدنه پمپها و شیر آلات به کار می رود و دلیل آن مشکل ایجاد فشار بالا در ریخته گری این نوع آلیاژ است.

انتخاب نوع مواد فولادی خارج از استاندارد موجود نیاز به طراحی با دستور العمل جدید داردکه هزینه های اضافی را دربر می گیرد. بنابراین تشخیص آلیاژهای مشابه که کمترین نیاز به اصلاح الگوها را داشته باشند بسیار مقرون به صرفه است. به هنگام انتخاب پمپها و شیرآلات خاص باید اطلاعاتی مانند ترکیب سیال و دمای سیال، PH، اجزای جامد سیال و سرعت جریان به سازنده ارائه شود.

سایر عوامل تاثیرگذار بر قیمت انتخاب مواد، عمر مفید و عملکرد در شرایط خاص(مانند توقف ناگهانی سیستم[3]) نیز از جمله اطلاعاتی است که موردنیاز سازنده می‌باشد.

1- Stems
2- Wrought
3- Shutdown

۲- انواع خوردگی

۲-۱- خوردگی عمومی

خوردگی عمومی کم و بیش شامل کلیه سطوح مرطوب فلزی با پوششهای تجزیه پذیر می شود. با این حال این نوع خوردگی مشکلات کمتری در مقایسه با انواع خوردگی موضعی دارد. با کاهش ابعاد و اندازه در اجزایی چون رینگ آب بند [1] در پمپها، سبب کاهش راندمان می شود. همچنین ادامه جدایش فلز و ورود آن به داخل سیال باعث آلودگی شده و نهایتاً خارج از معیار پذیرش استاندارد خواهد بود. اطلاعات زیادی در مورد سرعت خوردگی آلیاژها در حضور انواع سیالات موجود می باشد. با این حال باید در نظر داشت که ممکن است این نوع اطلاعات در شرایط سکون و یا حرکت آرام سیال، به دست آمده باشد. در حالی که در سرعتهای بالا سرعت تجزیه برخی فلزات به مقدار زیادی افزایش می یابد.

۲-۲- خوردگی موضعی

دو نو ع اصلی خوردگی موضعی شامل حفره دار شدن و خوردگی شیاری می شود.

۲-۲-۱- حفره دار شدن [2]

این نوع خوردگی بسیار موضعی بوده و حفره‌هایی با قطر کم و عمق بالا ایجاد می کند. سرعت خوردگی با توجه به شرایط، متفاوت می باشد و ممکن است در حد چند میلیمتر در سال باشد. حفره دار شدن زمانی روی میدهد که در نقطه کوچکی لایه محافظ فلز، جدا شده باشد. با توجه به اینکه در بسیاری از فلزات منطقه مقاوم [3] مجدداً ایجاد نمی شود این موضوع سبب تجزیه بیشتر فلز می‌گردد. انحلال فلز در داخل حفره باعث ایجاد بار مثبت اضافی در این ناحیه می شود. در نتیجه یونهای کلر برای برقراری تعادل الکتریکی وارد محیط شده و موجب کاهش PH می شوند که این موضوع انحلال فلز را تشدید می نماید. ممکن است انحلال فلز اندک باشد ولی نفوذ در مدت زمان اندکی روی می دهد.

۲-۲-۲- خوردگی شیاری [4]

این نوع خوردگی در شیار باریک میان دو جزء (مانند اتصالات فلنجی یا رزوه‌ای) روی می دهد. به این ترتیب که غلظت اکسیژن موجود در محیط داخل شیار کاهش یافته و انحلال فلز در محیط، افزایش می‌یابد. خوردگی شیاری به دو صورت، یکی در اثر کاهش غلظت اکسیژن در محیط شکاف و دیگری در اثر افزایش غلظت یون فلزی در این محیط روی می دهد. نوع اول بیشتر در فولادهای ضد زنگ و آلومینیم و نوع دوم بیشتر در آلیاژهای مس رخ می دهد. به دلیل تفاوت غلظت اکسیژن در داخل و خارج شکاف یک پیل غلظتی ایجاد می شود، به طوریکه داخل شکاف بعنوان آند فعال عمل می کند و دهانه شکاف که اکسیژن بیشتری دارد به عنوان کاتد عمل می نماید (فلز داخل شکاف خورده می شود تا اکسیژن موجود در شکاف احیا گردد). ازدیاد بار مثبت یون فلز در داخل شکاف، ایجاد نمک فلزی کرده که با ترکیب با آب موجود، سبب کاهش PH محیط وتشدید امر خوردگی می شود. ایجاد این نوع خوردگی شبیه به خوردگی حفره ای است اما تحت شرایط خاصی به سرعت رشد می کند.

۲-۳- خوردگی گالوانیک

این نوع خوردگی زمانی روی می دهد که دو یا سه نوع فلز متفاوت با یکدیگر اتصال الکتریکی داشته باشند و درون یک سیال خورنده غوطه ور باشند. خوردگی در فلزاتی که ردیف الکترو شیمیایی آنها اختلاف بیشتری داشته باشد با سرعت و حساسیت بیشتری روی می دهد، به طور معمول خوردگی در

1- Wear ring
2 -Pitting
3 –Passive
4- Crevice

اختلاف پتانسیل های 200mV و یا بیشتر پیش می‌آید. اما گاهی تحت شرایط نا مساعد وبا اختلاف پتانسیل 50تا 100mV سرعت خوردگی افزایش می یابد. مثال بارز آن خوردگی گالوانیک در خط جوش می باشد.

بنابراین بهتر است فلز جوش دارای ظرفیت بالاتر بوده و یا پتانسیل الکتریکی مثبت تری نسبت به فلز پایه در آن سیال را دارا باشد. خوردگی گالوانیک به شدت تحت تاثیر سطح مرتبط دو فلز می باشد. معمولاًزمانی که فلز الکترونگاتیوتر سطح بزرگتری نسبت به فلز الکتروپوزیتیو دارد میزان خوردگی به حداقل می رسد. مثال ساده آن استفاده از فولاد ضد زنگ 316 در ساخت پره های پمپ آب دریا با بدنه ای از فولاد ریختگی می باشد. دمای محیط، پتانسیل فلزی که در نقش کاتد عمل می کند و فاصله، دو فلز غیر همجنس از یکدیگر در بحرانی شدن اوضاع خورگی موثر است.

خوردگی گالوانیکی معمولاً در نزدیکی محل اتصال شدیدتر بوده و با دور شدن از این نقطه نیز خوردگی کمتر می شود.

در انتخاب کلیه اجزا ، و مواد مصرفی برای پمپها و شیر آلات و لوله های اتصال، باید بررسیهای لازم جهت جلوگیری از خوردگی گالوانیکی و صدمات ناشی از آن صورت پذیرد.

۲-۴- اثرات جریان[1]

۲-۴-۱- سایش

سایش زمانی روی میدهد که سیال، حاوی ذرات جامد بوده و سبب از بین رفتن مواد می شود. سایش تابعی از حجم ذرات جامد و مجذور سرعت سیال و زاویه برخورد می باشد. مقاومت فلزات مختلف در برابر سایش متفاوت است و با افزایش استحکام و سختی فلزات، این مقاومت افزایش می یابد.

فلزات کار سخت شده[2] مقاومت بیشتری در برابر سایش دارند و در برخی موارد استفاده از پوششهای سرامیکی جهت جلوگیری از سایش ضروری است. شکل (۱) نشانگر سایش شدید در پره هایی از جنس چدن است.

شکل (۱):سایش شدید پره هایی از جنس چدن خاکستری در اثر عبور ذرات زغال پس از دو ماه

۲-۴-۲- خوردگی سایشی

این نوع خوردگی در اثر عوامل مکانیکی و شیمیایی توأماً و در زمانی روی می دهد که لایه محافظ آلیاژ یا یونهای فلزی حل شده روی سطح فلز در اثر حرکت سیال روی سطح باقی نمانده وبه طریق مکانیکی از سطح جدا شوند. خوردگی سایشی عموماً با افزایش تلاطم سیال سرعت می یابد.

ظاهر این نوع خوردگی به صورت شیارهای موجی و یا سوراخهای کروی و هموار می باشد که معمولاً در جهت خاصی قرار گرفته اند. کلیه تجهیزاتی که در تماس با مایعات متحرک می باشند در معرض خوردگی سایشی قرار دارند، که معمولاً به صورت موضعی روی می دهد.

چند نمونه از این تجهیزات عبارتنداز زانویی ها، خم ها و سه راهی های سیستم لوله کشی، شیرهای پروانه ای، تجهیزات گریز از مرکز و در کل اجزایی که در معرض تلاطم شدید مایع قرار دارند.

1- Flow effect
2- Work harden

۲-۴-۳- خوردگی حفره ای (کاویتاسیون)

این نوع خوردگی زمانی روی می دهد که شرایط عملکرد پمپها نامساعد بوده و یا شیرهای کنترلی پمپها افت فشار قابل ملاحظه ای را سبب گردد که نهایتاً در اثر کاهش ناگهانی فشار، حبابهای بخار ایجاد می شود و باعث خوردگی حفره ای (کاویتاسیون) می شود.

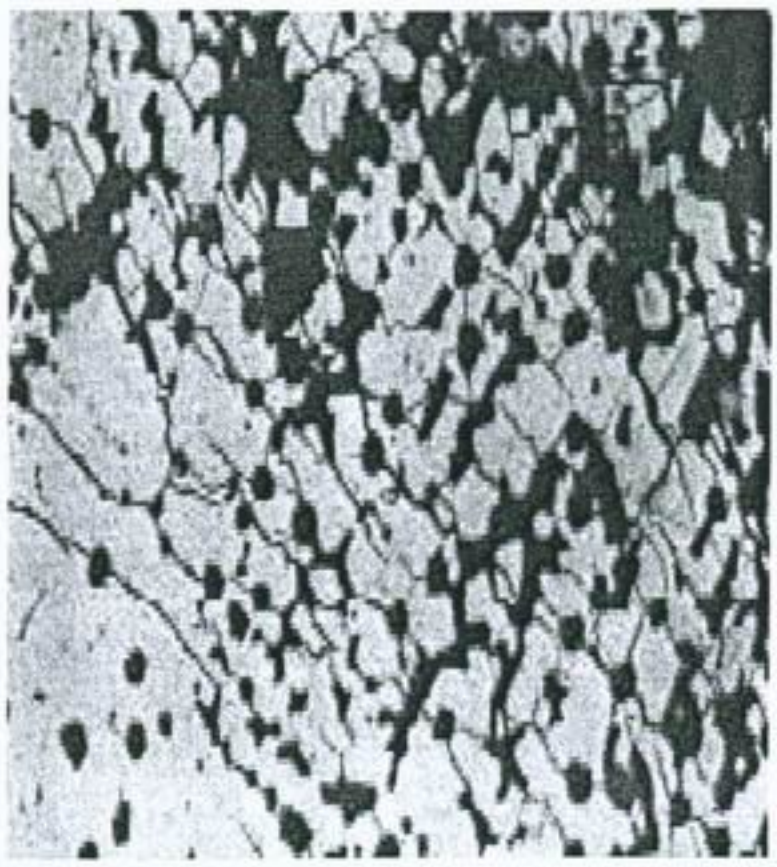
۲-۵- اثرات محیطی

۲-۵-۱- ترک تحت تنش[1]

از انواع آسیبهای موضعی است و در اثر همزمانی تنشهای کششی(داخلی و خارجی) و یک محیط خورنده روی می دهد. آلیاژهای بسیاری در ترکیبهای شیمیایی خاص و دمای خاص مستعد این نوع ترک هستند.

به عنوان مثال فولادهای ضد زنگ آستنیتی در ترکیبات کلریدی داغ و یا آلیاژهای مس در محلولهای شامل نیترید و کلرید به دلیل عدم اطمینان ازمقادیر تنشهای واقعی در زمان ساخت و تولید و یا در شرایط کاری تعیین حد تنش برای سیستم آلیاژی را بسیار دشوار می نماید. مقاومت آلیاژها در برابر خوردگی تنشی حتی اگر در یک گروه هم باشند متفاوت است.

با این وجود انتخاب یک آلیاژ مناسب امکان پذیر است. شکل(۲) نشانگر ترکهای ناشی از خوردگی تنشی در فولاد ریختگی آستنیتی می باشد.



شکل(۲): ترکهای ناشی از خوردگی تنشی در فولاد ریختگی آستنیتی

۲-۵-۲- خوردگی تحت تنش در حضور سولفید[2]

نوع خاصی از خوردگی تحت تنش است که بیشتر در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی روی می دهد. این نوع خوردگی مانند SCC در اثر تنش ونیز حضور هم زمان سولفید هیدروژن در سیال، ایجاد می شود. میزان خوردگی هر آلیاژ با تغییر دما تغییر می کند. همچنین مقادیر فشارو دمای H_2S در میزان خوردگی موثر است.

در کل غلظت کلرید، تعیین کننده میزان خورندگی محلول و PH آن است.

برای انتخاب مناسب مواد دزمحیطهای اسیدی می توان از استاندارد شماره NACE-MR0175 که شامل آلیاژها و محدودیت انتخاب آنها می شود استفاده کرد. کیفیت سایر آلیاژها که خارج از محدوده تعریف شده، NACE می باشد، از طریق آزمایشات مندرج در EFC شماره های(۱۶) و (۱۷) تعیین می شود.

۲-۵-۳- تردی هیدروژنی

این نوع تردی مانند خوردگی SCC تحت تنش و حضور یون هیدروژن روی میدهد. شایع ترین حفاظت از این نوع خوردگی حفاظت کاتدی است. قسمتهای داخلی پمپها و شیرآلات به ندرت از طریق حفاظت کاتدی محافظت می شوند، اما قسمت خارجی آنها خصوصاً در زمان استفاده در زیر آب دریا تحت

1- Stress Corrosion Cracking (SCC)
2 -Sulphide Stress Corrosion Cracking (SSCC)

حفاظت کاتدی قرار می گیرند. آلیاژهای مس و آلیاژهای ضد زنگ آستنیتی مقاومت بالایی در برابر ترک هیدروژنی دارند.
در حالی که سایر فولادهای ضد زنگ و آلیاژهای پایه نیکلی و تیتانیوم مستعد این نوع ترک هستند. با این وجود حدتنش شکست حتی در مورد فولادهای مستعد این نوع ترک بالای ٪۰/۲تنش تسلیم است.

۲-۵-۴- خوردگی خستگی

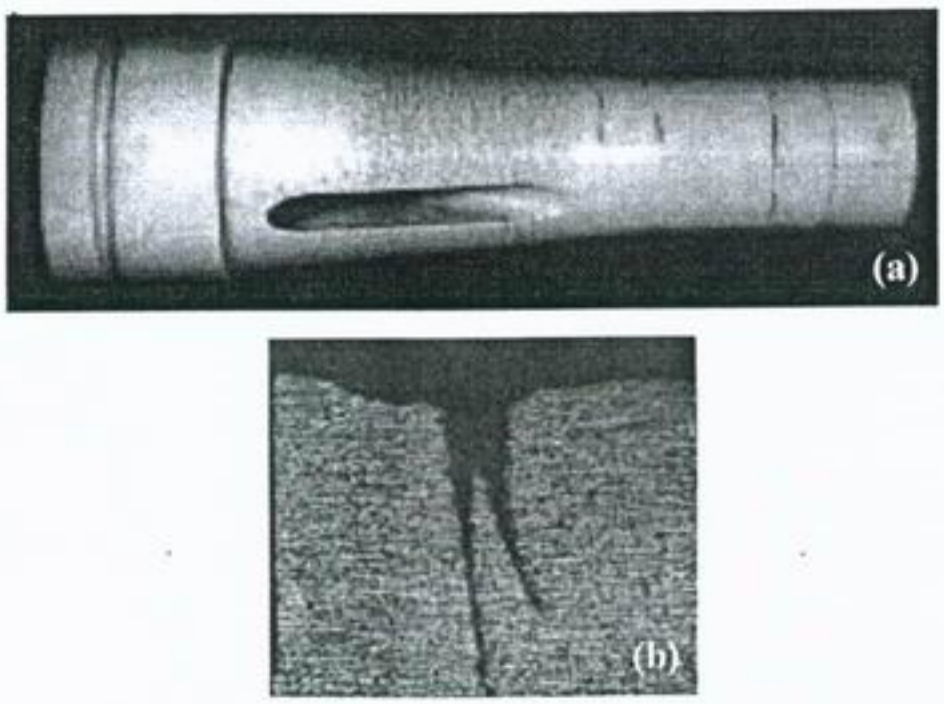
این نوع خوردگی زمانی روی می دهد که اولاً تنش مداوم(سیکلی) و ثانیاً محیط خورنده باشد. آسیبها عموماً در حین سرویس دهی، و در مکانهای پر تنش و یا در مکانهای تمرکز تنش مانند شفت پمپها ویا پره های آن روی می دهد ولی به ندرت بر شیرآلات اثرگذار است. شکل (۳) نوع ساده ای از یک نوع خوردگی خستگی در محور پمپها را نشان می دهد. گاهی اوقات وجود مقدار اندکی خوردگی عمومی در سیستم، اثر فراوانی در سرعت گسترش خوردگی خستگی دارد.

۲-۶- آلیاژ زدایی

بارزترین نوع آلیاژ زدایی "روی زدایی" می باشد که بر آلیاژهای برنج اثر گذار است. در این حالت روی زدوده می شود و حفره باقی می گذارد و در نتیجه یک قطعه با همان ابعاد و از جنس مس اسفنجی باقی می ماند. نوع مشابه آن آلومینیوم زدایی است که در آلیاژهای برنز- آلومینیوم اتفاق می افتد. به طور کلی آلیاژزدایی در حلالی که شامل کلرید باشد روی می دهد.

۲-۷- فرسایش

فرسایش در نتیجه سایش میان اجزای ثابت و در حال چرخش ایجاد می شود. به دلیل عمومیت این موضوع در پمپها و شیرآلات، فرسایش غیر قابل اجتناب است. بنابراین در جایی که چنین شرایطی وجود داشته باشد باید از موادی که سختی بالاتری دارند استفاده شود. نوع دیگری از سایش که بین دو جزء ثابت ومتصل به یکدیگر که نوسانی با دامنه اندک نسبت به هم دارند، وجود دارد به نام Fretting که در نتیجه آن سطوح در اثر قطعات جدا شده اکسیدی حفره دار می شوند.



شکل(۳): خوردگی خستگی در شفت پمپ : (a) نمای عمومی (0. 5 ×) و (b) نمای میکروسکوپی (70 ×)

جهت جلوگیری از این موضوع، طراحی باید به گونه ای باشد که نوسانات در اجزای در گیر به حداقل برسد و یا اینکه از مواد مقاوم استفاده شود.

گالینگ نوع دیگری از فرسایش است که بین مواد یا اتصالات خاص ایجاد می شود و سبب اتصال و یا حتی جوش خوردن و یا پارگی سطوح فلز می شود. هر چه میزان فشار بیشتر باشد احتمال ایجاد این عیب بیشتر است. سری 300 از فولادهای ضد زنگ آستنیتی مانند بولت ها در معرض این نوع عیب قرار دارند.

۳- انتخاب مواد

ترکیبات شیمیایی مواد به کار رفته در ساخت پمپها و شیر آلات در جداول (۱) و(۲) به همراه کاربرد آنها مشخص شده است. مشخصات این مواد از لحاظ کاربردی و به صورت عمومی بیان گردیده و برای جزئیات بیشتر و موارد خاص، نیاز به انتخاب مواد خاص می باشد.

بدنه[1] پمپها و شیر آلات معمولاً از طریق ریخته گری تهیه می شوند. با توجه به این موضوع، قابلیت ریخته گری این آلیاژها تاثیر بسیاری در انتخاب مواد دارند، مثلاً برخی آلیاژها سخت بوده و مناسب ریخته گری نیستند. برخی ازآلیاژها نیزبه لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیستند.

آلیاژهای مناسب ریخته گری برخلاف آلیاژهای کار شده(کار گرم یا سرد) خواص خوردگی متفاوتی دارند. بنابراین تعیین این نوع خواص قبل از طراحی نهایی اهمیت دارد. تفاوت دیگر یک آلیاژ کار شده و ریخته شده در خواص مکانیکی آنهاست. قطعات ریخته شده معمولاً مقاومت کمتری نسبت به قطعات کار شده دارند که باید در طراحی در نظر گرفته شود. نکته آخر این که جلوگیری از خوردگی گالوانیک در کلیه برآوردها باید در نظر گرفته شود.

۴- نتیجه گیری

۴-۱- حفاظت از سطوح خارجی

سطوح خارجی پمپها و شیر آلات و میله های گرداننده آنها، نگهدارنده ها و. . . مانند سایر سازه های فلزی غالباً آسیب پذیر بوده و در برابر محیط خورنده که می تواند یک محیط گرم و خشک و سر پوشیده و یا اتمسفر خورنده ساحلی و یا آب دریا باشد به محافظت صحیحی نیاز دارد. استاندارد BS5493 راهنمای مناسبی برای این منظور می باشد. برای حفاظت سطوح از طریق رنگ زدن باید در آماده سازی سطوح دقت کافی شود، به عنوان مثال اعمال سند بلاست در فضای آزاد و اتمسفر مرطوب ضروری است. به طور کلی یک رنگ کاری مناسب و کامل باید شامل سه پروسه آماده سازی سطح، زدن رزین آستری و نهایتاً اعمال پوشش نهایی ضد آب باشد. از نظر طراحی اشکال و سطوح خارجی باید به گونه ای باشد که تجمع موضعی آب و گرد و غبار در آن به حداقل برسد. در حالتی که این موضوع امکان پذیر نیست، افزایش ضخامت لایه رنگ جهت جلوگیری از آسیبهای محلی ضروری می باشد. برای سازه هایی با اشکال ساده چون لوله ها و ستونها، روکشهایی همانند اپوکسی مناسب است.

۴-۲- ملاحظات طراحی

در زمان انتخاب پمپ باید توجه داشت، ظرفیت و فشار آن باید توانایی رانش سیال را داشته باشد. همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی سیال هم اهمیت دارد. برای مثال اگر پمپی برای پمپاژ مایع حامل ذرات جامد باشد، سرعت سیال درمیزان خوردگی اثرگذار است. در صورتی که سرعت حرکت سیال پایین باشد ممکن است رسوب ایجاد شود و در صورتی که سرعت حرکت سیال بیش از حد مجاز باشد ممکن است سایش شدید روی دهد. به علاوه با افزایش جریان بر شدت مسائل خوردگی وابسته به جریان که قبلاً به آن اشاره شد افزوده می شود. در اینجا توجه به پوشش بر روی پمپها و شیرآلات برای

1-body

جدول (۱): ترکیب شیمیایی برخی مواد ریخته گری متداول در ساخت پمپها و شیر آلات

FERROUS AND NICKEL BASE ALLOYS WEIGHT PER CENT										
Material	Grade	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Others
Ni Resist Cast Iron	Flake graphite	<3.0	<2.8	<1.5	<0.2	-	2	15	-	Cu 6.5
Ni Resist Cast Iron	Spheroidal graphite	<3.0	<2.2	<1.5	<0.05	-	2	20	-	Mg <0.06
Martensitic St Steel	13Cr 4Ni	<0.10	<1.0	<1.0	<0.04	<0.03	12.5	4	<0.06	
Martensitic St Steel	17Cr 4Ni PH	<0.70	<1.0	<0.7	<0.04	<0.03	16.5	4	-	Cu 3
Austenitic St Steel (304)	18Cr 8Ni	<0.06	<1.5	<2.0	<0.04	<0.04	18	10	-	
Austenitic St Steel (316)	18Cr 8Ni 2.5Mo	<0.06	<1.5	<2.0	<0.04	<0.04	18	10	2.2	
Austenitic St Steel 20Cr	Alloy 20	<0.07	<1.5	<1.5	<0.04	<0.04	20	29	2.5	Cu 3
Super Austenitic St Steel	20 Cr 6Mo	<0.03	<1.0	<1.2	<0.04	<0.01	20	18	6	N 0.2 Cu 0.7
Duplex St Steel	22Cr	<0.03	<1.0	<1.5	<0.03	<0.02	22	6	3	N 0.15
Duplex St Steel	25Cr	<0.03	<1.0	<1.5	<0.03	<0.025	25	7	2.5	N 0.2
Super Duplex St Steel	25Cr	<0.03	<1.0	<1.0	<0.03	<0.025	25	8	3.5	N 0.25 Cu 0.7 W 0.7
Nickel Copper Alloy	Alloy 400	<0.3	<0.5	<2.0	-	-	-	65		Cu REM Fe<2.5
NiCrMoNb Alloy	Alloy 625	<0.15	<0.50	<0.50	<0.15	<0.15	21	REM	9	Al 0.2 Nb 3.5 Ti 0.2 Fe 3
NiCrMoFe Alloy	Alloy 825	<0.05	<0.15	<1.0	-	-	21.5	42	3	Fe 26 Cu 2 Ti 1
Nickel Molybdenum Alloy	Alloy B-2	<0.02	<0.10	<1.0	-	-	<1.0	REM	28	Co<2.5 Fe<2.0
NiMoCrFeW Alloy	Alloy C-276	<0.02	<0.05	<1.0	-	-	15.5	REM	16	Co<2.5 Fe 5 W 3.5
NON-FERROUS ALLOYS WEIGHT PER CENT										
Material	Grade	Cu	Sn	Zn	Pb	P	Ni			Others
Leaded Gunmetal	85Cu 5Sn 5Pb 5Zn	REM	5	5	5	-	-			
Leaded Gunmetal	87Cu 7Sn 3Pb 3Zn	REM	7	2	3	-	-			
Phosphor Bronze	Cu 10Sn P	REM	10	-	<0.15	0.75	-			
Aluminium Bronze	Cu 10Al 3 Fe	REM	-	-	<0.03	-	<1.0			Al 9.5 Fe 2.5
Nickel Aluminium Bronze	Cu 10Al 5 Fe 5Ni	REM	-	-	<0.03	-	5			Al 9.5 Fe 5

جدول(۲)

بدنه پمپ وانواع شیر	استفاده
چدن ها /فولادها چدن خاکستری چدن مالیبل چدن فولاد ریخته گری/آهنگری چدن آستنیتی(Ni resist)	آب، بخار، محیط قلیایی، محلولهای خشک، مواد ارگانیک، اسید سولفوریک غلیظ چدن خاکستری و فولاد کربنی بدون حفاظت(مانند حفاظت کاتدی) مناسب جهت استفاده در آب دریا نمی باشد. آب دریا، آب شور، پساب
فولادهای ضد زنگ مارتنزیتی	عموماً مقاومت خوردگی بالا، در برابرمحیط قلیایی، برخی اسیدها ومحلولهای خشک را دارد. سیالات مربوط به صنعت نفت و گاز، برای انتقال آب دریا مناسب نیست.
آستنیتی .	نوع 304 برای انتقال آب دریا مناسب نیست. نوع 316 را می توان برای انتقال آب دریا به کار برد، ولی ممکن است دچار خوردگی شیاری شود مگر اینکه محافظت گالوانیک از آن صورت پذیرد. آلیاژ 20 برای سیستم حاوی اسید فسفریک و سولفوریک کاربرد دارد.
ذاپلکس سوپر آستنیتی سوپر ذاپلکس	مقاومت به خوردگی بالایی دارد خصوصاً نسبت به آلیاژ 316 در خوردگی تحت تنش SCC. مقاومت به خوردگی بالا در محدوده وسیعی از سیالات مانند آب دریا، آبهای صنعتی، آبهای شور، قلیایی، اسیدی و معدنی
آلیاژهای مس برنج	آب، بخار، برای آب دریا مناسب نیست
برنزها Gunmetal فسفر_برنز	به طورمعمول مقاومت مناسبی در برابر خوردگی آب دریا دارند: نامناسب برای محیطهای شدیداً قلیایی آب شور آب دریا
آلومینیم_برنز نیکل_آلومینیوم _برنز(NAB)	مقاومت به خوردگی بالا در آب دریا. نباید در جایی که حاوی سولفید (مانند سولفید هیدروژن)باشد به کار برد
آلومینیم آلومینیم و آلیاژهای مختلف آن	معمولاً در کارهای شیمیایی کاربرد ندارد.
آلیاژهای نیکل آلیاژ 400 آلیاژ 625 آلیاژ 825 آلیاژ B-2 آلیاژ C-276	مقاوت بالا در محدوده، وسیعی از اسیدها و قلیاها مقاوم نسبت به آب دریا و آب شور اما احتمال خوردگی شیاری در آن بالا می باشد. مقاومت بالا نسبت به خوردگی شیاری آب دریا مقاوم نسبت به محیط شور، قلیایی ارگانیک، H2Sو برخی اسیدها به طور معمول برای سیال حاوی HCL در شرایط کاهنده کاربرد دارد. (در کلیه، استحکامها) مقاومت بسیار خوبی نسبت به انواع آبها و مواد شیمیایی دارد.
تیتانیوم و آلیاژهای آن تیتانیوم	مناسب برای محدوده، وسیعی از اسیدها و قلیاها در شرایط کاهنده ضعیف عمل می کند.
غیر فلزات GRP (پلاستیک مقاوم شده با شیشه) پلی وینیل کلرید(PVC) پلی پروپیلن PVDF,FEB,PTFE	مناسب برای آب، آب دریا. برای اسیدها و قلیاها کاربرد دارند. اسیدها، قلیاها، محلولها و مواد ارگانیک
سرامیکها ذرات رسوبی پوششها	مورد استفاده در Valve Seatها و pump wear ring . مقاوم در محدوده وسیعی از سیالات. باید توجه داشت موادی که حاوی بایندر هستند در موارد مشخص تایید شده با شند.
روکشها و پوششها شیشه/لعاب ابونیت، کائوچو طبیعی، پلی پروپیلن PVDF,FEP,PTFE	در همه شرایط مگر آب خالص، اسید هیدروفوریک، قلیاها اسیدهای غیر اکسیدی و قلیاها بسیاری از مواد ارگانیک، اسیدها و قلیاها

کاهش میزان سایش ضروری به نظر می رسد. توزیع فشار و جریان در اجزا باید به گونه‌ای باشد که از ساییدگی و حفره دار شدن جلوگیری شود. واشرها نباید به صورت برآمدگی در مسیرجریان قرار گیرند زیرا باعث جدایش و ایجاد جریان متلاطم می گردند. کوچکترین موارد در پمپها و شیرآلات نیاز به توجه فراوان دارند. برای مثال درپوشهای تخلیه سیال که در تماس با سیال هستند از لحاظ گالوانیکی باید با بدنه همساز بوده و یا نسبت به خوردگی مقاوم باشند. یکی از فاکتورهای مهم خوردگی که معمولاً مورد توجه قرار نمی گیرد دما می باشد. به طور مثال در پمپهای سانتریفوژ در اثر افزایش دما در اجزایی چون رویه، آب بندهای مکانیکی و یا شفتهای زیرین غلافهای آب بندی، باعث خوردگی شیاری و یا حفره ای می شود.

۴-۳- فاکتورهای خوردگی درحین سرویس دهی

پس از انتخاب و طراحی پمپ مناسب برای یک هدف خاص که از مسائل مربوط به خوردگی دور باشد، جهت جلوگیری از پیش آمدن چنین مشکلاتی در حین سرویس دهی نیز، ملاحظات خاصی باید در نظر گرفته شود. به طور معمول مهمترین منبع خوردگی در حین سرویس دهی ورود هوا یا رطوبت به درون سیستم بسته، در زمان توقف کار می باشد که سبب ایجاد مسائل خوردگی در مناطقی که مقادیر اندکی از سیال باقیمانده باشد می‌گردد.

برای جلوگیری از این موضوع باید از تخلیه مناسب در کلیه محلها اطمینان حاصل کرد و یا از طریق مایعات بی ضرری چون آب جاری، سیال باقیمانده را تخلیه نمود. در مورد فولادهای کربنی و کم آلیاژ برای جلوگیری از خوردگی در چنین مواردی نیاز به تمهیدات اضافی می باشد. تغییرات در ترکیبات سیال موجود در سیستم، ممکن است سبب آسیب و خوردگی تجهیزات شود، حتی اگر این تغییرات در مقیاس اندک باشد. به طور مثال حضور مقادیر اندکی یونهای آهن و یا مس می توانند یک سیال احیا کننده را به یک سیال اکسید کننده تبدیل کنند. تغییرات دیگری هم ممکن است در سیال روی داده و سبب افزایش سرعت خوردگی شود که شامل تغییر دما و یا PH سیال می باشد.

به همین دلیل طراح باید در مرحله طراحی اجزای داخلی احتمال این تغییرات را در نظر داشته باشد، زیرا جبران خسارت پس از این خرابی بسیار گران تمام می شود و علاوه بر هزینه انجام شده برای اجزاء جدید، زمان از دست رفته در پروسه کار مطلبی است که باید مدّ نظر قرار گیرد. اجزای غیر فلزی مانند موادی که در آب بندیها و یا دیافراگمها و پوششهای داخلی لوله ها به کار می روند نیز ممکن است به مرور زمان در معرض آسیبهایی چون تورم، تردی، ساییدگی و. . . قرار گیرند. بنابراین انجام آزمایشات لازم قبل از طراحی و انتخاب مواد و بررسی دقیق نتایج از اهمیت فراوانی برخورداراست. در جدول (۳) اطلاعات لازم جهت بررسی و انتخاب مواد در پمپها و شیر آلات به طور خلاصه بیان شده است.

جدول(۳)

ردیف	متغیر	اطلاعات لازم
۱	سیال	خواص و ترکیبات شیمیایی، غلظت، PH، اکسید کنندگی، ناخالصیها، افزودنیهای شیمیایی، ذرات جامد معلق، تغییرات در طول زمان
۲	دما	حداقل دما، حداکثردما، دمای معمول، امکان شوک دمایی
۳	فشار	محدوده، احتمال خلاء
۴	عملکرد	مداوم، متناوب، توقف موقت
۵	جریان(دبی)	افزایش جریان به مرور زمان ـ تلاطم موضعی جریان ناشی از افزایش سرعت
۶	آلودگی	اثر گذار در میزان خوردگی سیال
۷	سایر موارد	میزان اعتبارمالی، حداقل عمر مفید سیستم، سهولت تعمیر، هزینه تعمیرات

۵- مراجع

1- "The Corrosion Handbook" انتشارات MPI,1998

2- Selecting the right pump. R F Neerken,chem. Eng. Desk book

3- Pump requirements for pumps in flue gas desulphurization plants by H Tischener

4- Material selection for proper sizing and material selection to optimize centrifugal pump materials by TA Layne

5- Pumps for corrosive media. ML Booth, Chart. Mech. Eng., January 1977, pp 72-74

6- Effect of operating conditions on the wear of wet parts in slurry pumps by Z Hu and J Cheng.
Handbook of industrial pipe work engineering .7- E Holmes, Mc Graw-Hill.

خانم ساناز اسد کرمی دارای لیسانس مهندسی متالورژی صنعتی از دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و از شهریور سال ۸۴ همکاری خود را با پروژه های کنترل کیفیت شرکت قدس نیرو آغاز کرده اند. زمینه کاری و علاقمندی ایشان انتخاب مواد در نیروگاه می باشد.

Email: sasadkarami@ ghods-niroo. com

تأثیر حضور منابع تولید پراکنده در حفاظت شبکه‌های توزیع

سید علی محمد جوادیان فیروزآبادی

کارشناس مطالعات سیستم – مدیریت ارشد مهندسی شبکه های انتقال و توزیع نیرو

کلید واژه‌ها : تولید پراکنده، حفاظت، شبکه توزیع، هماهنگی ادوات حفاظتی، بازبست

چکیده

سیستم های توزیع سنتی به طور معمول شعاعی هستند که از طریق یک منبع، فیدرهای پایین دستی تغذیه می‌شوند. سیستم حفاظتی نیز در گذشته بر مبنای شعاعی بودن شبکه توزیع طراحی می‌شد. در سالهای اخیر به استفاده از نیروگاه‌های تولید پراکنده در شبکه‌های برق توجه زیادی شده است. چنانچه این نیروگاه‌ها به شبکه سراسری متصل شوند بر عملکرد سیستم حفاظت شبکه توزیع اثر خواهند گذاشت و هماهنگی موجود بین ادوات حفاظتی، دیگر عمل نخواهد کرد. به دلیل اینکه فلسفه‌های مختلفی برای طراحی سیستم حفاظت وجود دارد در این مقاله تنها به برخی از تناقضات ناشی از حضور منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع با سیستم حفاظت سنتی اشاره شده است و راه حل قطعی برای رفع این تناقضات پیشنهاد نگردیده است.

۱- مقدمه

شبکه‌های توزیع سنتی به صورت شعاعی بهره برداری می‌شوند، بنابراین طراحی سیستم حفاظت برای این شبکه‌ها چندان پیچیده نیست، اما با توجه به اینکه در چند سال گذشته توجه زیادی به نصب واحدهای DG در شبکه‌های توزیع شده است و حضور این منابع ماهیت شعاعی بودن شبکه توزیع را از بین می‌برند، حضور منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع مشکلات زیادی را برای طراحی سیستم حفاظت این شبکه‌ها بوجود آورده است[۱،۲و۳].

به طور کلی مشکلات ایجاد شده توسط منابع تولید پراکنده برای حفاظت شبکه‌های توزیع عبارتند از: تریپ اشتباه فیدرها، تریپ اشتباه واحدهای تولیدی، کور شدن حفاظت، افزایش و کاهش سطح اتصال کوتاه، جزیره ای شدن نا خواسته، جلوگیری از بازبست اتوماتیک و بازبست غیر سنکرون[۱۰].

ظهور این مشکلات به مشخصات شبکه و منابع تولید پراکنده بستگی دارد و در اکثر مواقع برای جلوگیری از آن باید حفاظت شبکه به خوبی تغییر کند. این تغییر طرح حفاظتی ممکن است بسیار پیچیده باشد، چرا که باید کل سیستم، از جمله شبکه و DG مدل شوند به طوری که تصور بهترین طرح حفاظتی هنوز بسیار دور از دسترس است [۱۱و۱۲]. در ادامه برخی از مشکلات بالقوه حضور منابع تولید پراکنده بر عملکرد سیستم حفاظت شبکه‌های توزیع با ذکر مثالهایی تشریح شده است.

۲- افزایش و کاهش سطح اتصال کوتاه

شکل (۱) یک فیدر توزیع ساده را نشان می‌دهد که شامل فیوز و بازبست می‌باشد. جریان اتصال کوتاه نقاط مختلف فیدر به ازای خطای سه فاز متقارن و تکفاز به زمین نیز بر روی شکل مشخص شده است. شکل (۲) نشان دهنده اضافه شدن یک واحد ۱/۵MW ژنراتور سنکرون می‌باشد.

سهم جریان خطا از طرف شبکه(I_{us})، سهم جریان DG (I_{dg})، جریان خطای دیده شده توسط بازبست (I_r) و همچنین جریان خطا (I_f) مشخص شده‌اند. بدون حضور DG، $I_{dg}=0$ است و در نتیجه :

$$I_f = I_{us} = I_r \qquad (۱)$$

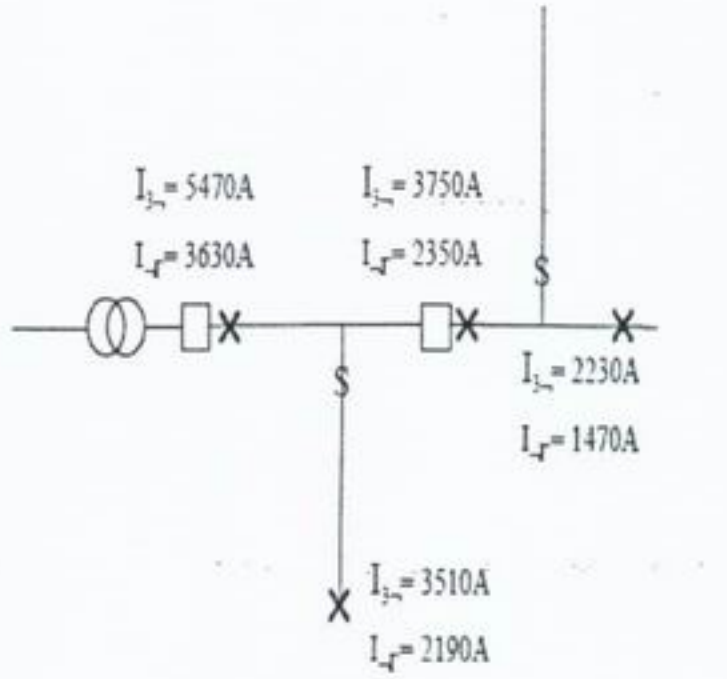
ولی با وجود DG داریم :

$$I_f = I_{us} + I_{dg} \qquad (۲)$$

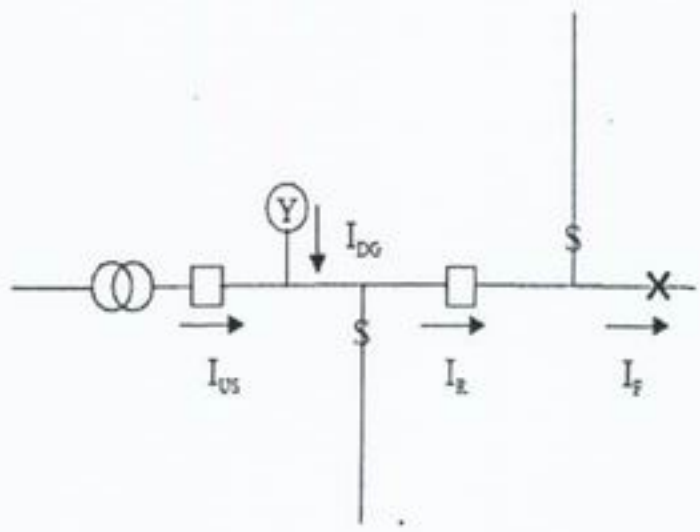
$$I_r = I_f \qquad (۳)$$

$$I_{us} \neq I_r \qquad (۴)$$

رابطه (۴) در شبکه‌های توزیع معمولی دیده نمی‌شود، همچنین I_{us} در حضور DG و بدون آن با هم برابر نیستند. در این شرایط با وجود DG خطایی که باز بست می‌بیند بیشتر از زمانی خواهد بود که DG حضور ندارد.



شکل (۱)

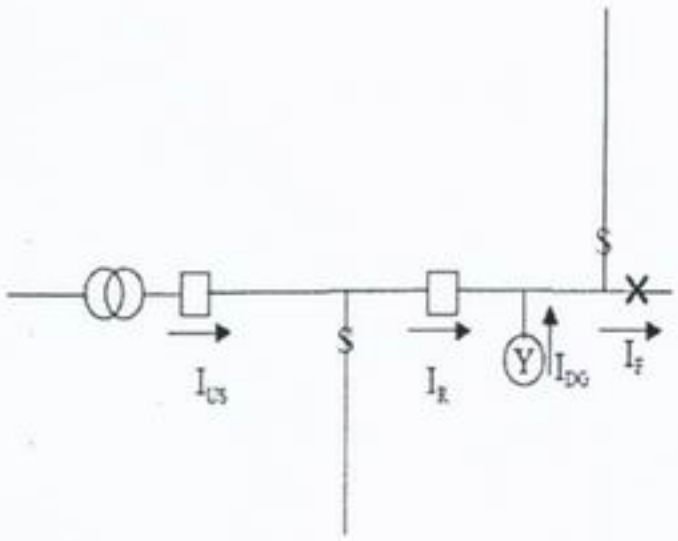


شکل (۲)

جدول (۱) مقادیر جریان خطا را با DG و بدون DG و به ازای خطای سه فاز و تکفاز در نقاط مختلف نشان می‌دهد.

جدول (۱)

	با DG		بدون DG	
	خطای سه فاز	خطای تک فاز	خطای سه فاز	خطای تک فاز
I_{us}	۲۱۲۰	۱۱۰۵	۲۲۳۰	۱۴۷۰
I_{dg}	۱۰۰	۳۶۰	۰	۰
I_r	۲۳۴۰	۱۸۲۵	۲۲۳۰	۱۴۷۰
I_f	۲۳۴۰	۱۸۲۵	۲۲۳۰	۱۴۷۰



شکل (۳)

شکل (۳) اضافه شدن یک واحد ۱/۵ MW ژنراتور سنکرون را در سمت پایین دست بازبست و به همراه خطا در انتهای فیدر نشان می‌دهد. در این حالت :

$$I_{us} = I_r \qquad (۵)$$

$$I_f \neq I_r \qquad (۶)$$

شرایطی که در رابطه (۶) دیده می‌شود در شبکه‌های توزیع سنتی بوجود نمی‌آید. همچنین I_{us} در دو حالت با DG و بدون DG متفاوت است. در این حالت جریانی که بازبست می‌بیند در حالت با DG کمتر از حالت بدون DG است. جدول (۲) مقادیر جریان خطا را در این شرایط نشان می‌دهد.

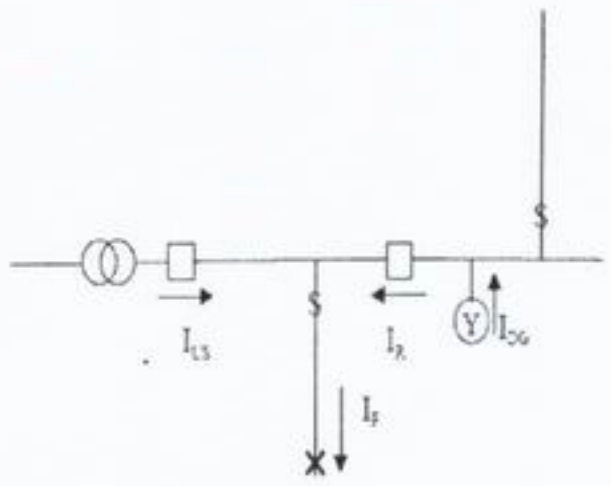
جدول (۲)

	با DG		بدون DG	
	خطای سه فاز	خطای تک فاز	خطای سه فاز	خطای تک فاز
I_{us}	۲۰۱۰	۵۹۰	۲۲۳۰	۱۴۷۰
I_{dg}	۱۵۲۰	۴۰۰	۰	۰
I_r	۲۰۱۰	۵۹۰	۲۲۳۰	۱۴۷۰
I_f	۲۴۱۰	۲۱۱۰	۲۲۳۰	۱۴۷۰

در شکل (۴) همان شرایط شکل (۳) را داریم ولی با خطای بالاتر از بازبست. در این شرایط :

$$I_{dg} = I_r \qquad (۷)$$

$$I_f \neq I_r \qquad (۸)$$



شکل (۴)

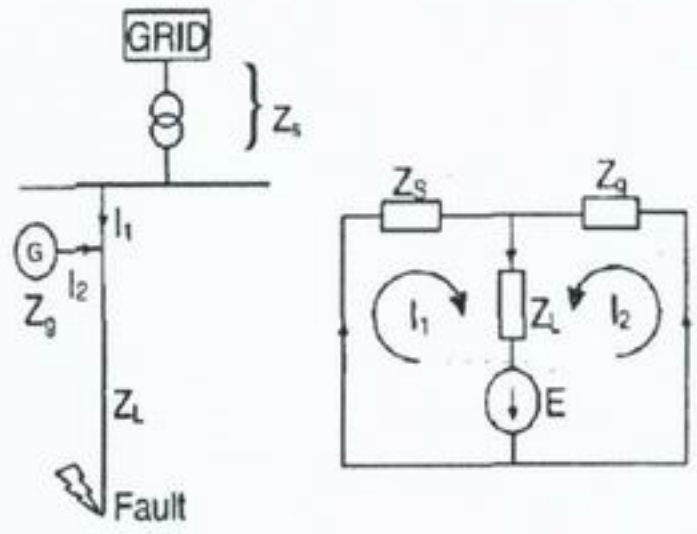
در این حالت جهت جریان I_r بر عکس حالت معمول خود شده است. در این شرایط بازبست خطای بالا دست خود را قطع می‌کند که برای ما مطلوب نیست. جدول (۳) مقادیر جریان خطا را در این شرایط نشان می دهد.

جدول (۳)

	با DG		بدون DG	
	خطای سه فاز	خطای تک فاز	خطای سه فاز	خطای تک فاز
I_{us}	۳۳۷۵	۱۳۵۰	۳۵۱۰	۲۱۹۰
I_{dg}	۴۰۰	۱۵۲۰	۰	۰
I_r	۴۰۰	۱۵۲۰	۰	۰
I_f	۳۳۷۵	۱۳۵۰	۳۵۱۰	۲۱۹۰

۳- جلوگیری از عملکرد رله جریان زیاد

وقتی که یک واحد تولیدی بزرگ و یا چند واحد تولیدی کوچک مختلف به شبکه فشار متوسط متصل شده باشند، در هنگام وقوع خطا در طول فیدر ممکن است جریان خطایی که رله اضافه جریان ابتدای فیدر می‌بیند کاهش یابد، که این امر می‌تواند از عملکرد رله جلوگیری کند. این موضوع را به صورت تئوری می‌توان اینگونه توجیه نمود که وقتی یک واحد تولیدی به فیدر فشار متوسط و نزدیک به پست بالادستی وصل شده باشد، اگر خطایی در انتهای فیدر رخ دهد جریان خطا از دو طریق تأمین می‌شود: بخشی توسط شبکه (I_1) و بخشی توسط منبع تولیدی (I_2). این وضعیت در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵)

در شکل (۵) اگر فرض کنیم جریانی خطایی که رله ابتدای فیدر در حالتی که DG در مدار نباشد می‌بیند I_k باشد خواهیم داشت :

$$\frac{I_1}{I_K} = \frac{Z_g(Z_s + Z_l)}{Z_s(Z_l + Z_g) + Z_l Z_g} \qquad (۹)$$

که در آن :

Z_s: امپدانس معادل شبکه و اولیه ترانسفورماتور

Z_g: امپدانس ژنراتور

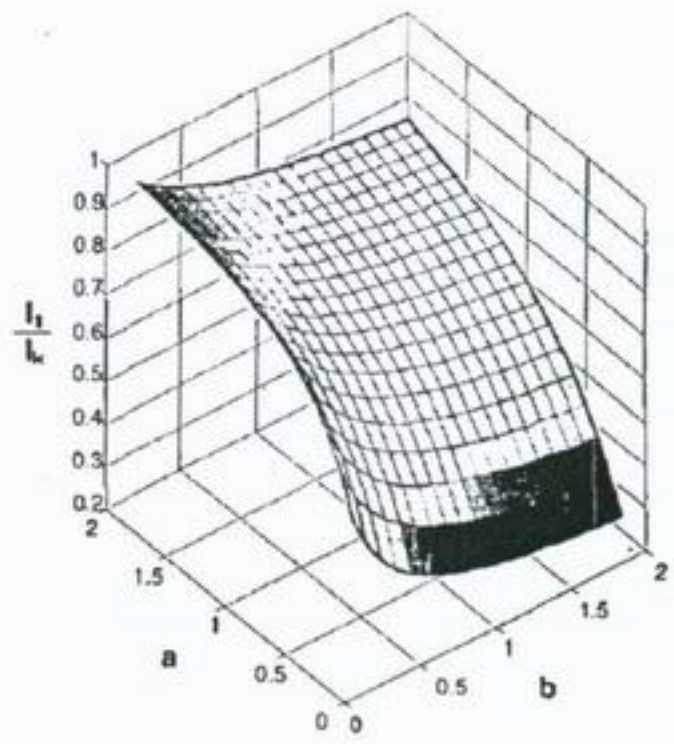
Z_l: امپدانس فیدر(خط)

حال اگر فرض کنیم $Z_g = a\ Z_s$ و $Z_l = b\ Z_s$ آنگاه خواهیم داشت :

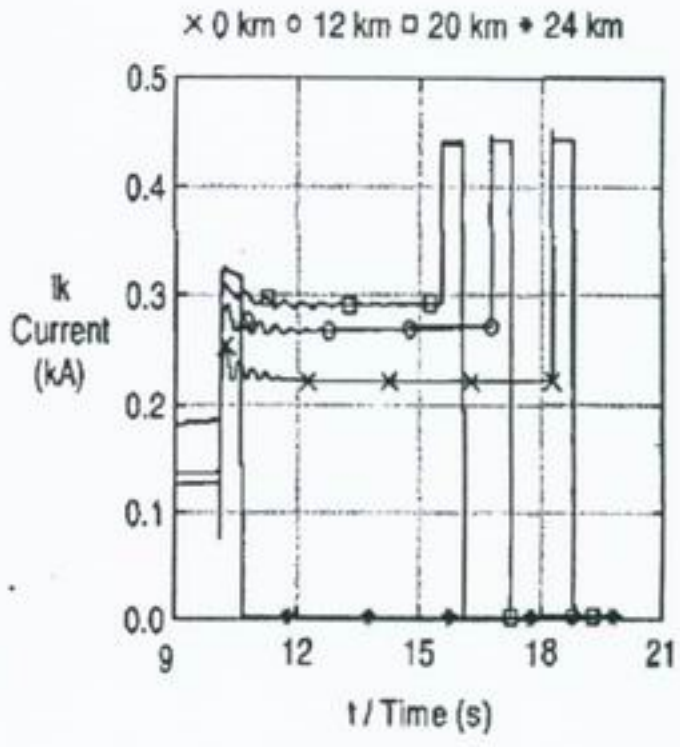
$$\frac{I_1}{I_K} = \frac{a + ab}{a + b + ab} \qquad (۱۰)$$

شکل (۶) مقدار نسبت $\frac{I_1}{I_K}$ را به ازای مقادیر مختلف ضرایب b و a نمایش می‌دهد.

شکل (۷) نتایج شبیه سازی مدار شکل (۵) را وقتی که یک دیزل ژنراتور در موقعیتهای مختلف در طول فیدر (۰، ۱۲، ۲۰ و ۲۴ کیلومتر) نصب شود نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود در ۳ مورد از شرایط فوق، رله تا قبل از تریپ دادن DG قادر به تشخیص خطا نبوده و مدار را قطع نکرده است، یعنی رله بعد از خروج DG از مدار، خطا را تشخیص داده و تریپ می‌دهد.



شکل (۶)

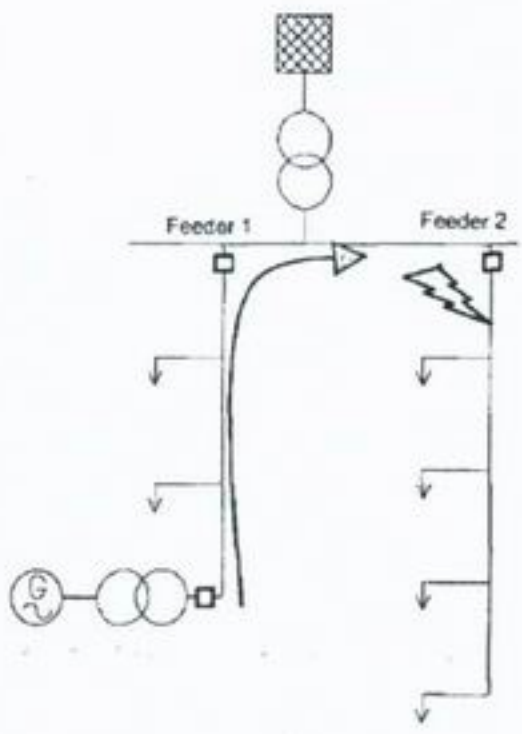


شکل (۷)

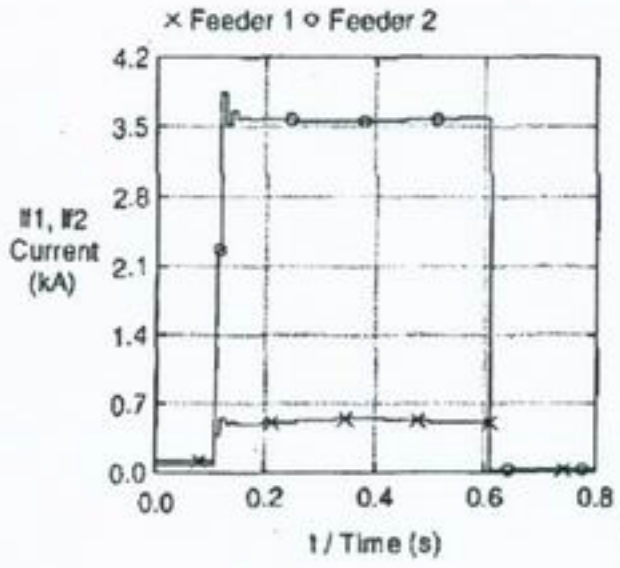
۴- تریپ دادن اشتباه رله‌ها

تریپ دادن اشتباه رله‌ها در اغلب موارد به دلیل تغییر جهت جریان خطای ناشی از حضور منابع تولید پراکنده در طول فیدر توزیع و تأمین جریان خطا بوسیله این منابع می‌باشد. شکل (۸) این وضعیت را به طور ساده نمایش می‌دهد. اگر اتصال کوتاه در فیدر (۲) رخ دهد، علاوه بر فیدر (۲) فیدر (۱) هم از مدار قطع می‌شود و علت این امر تغذیه شدن جریان خطا بوسیله DG و عبور جریان DG از رله ابتدای فیدر (۱) می‌باشد.

شکل (۹) نتیجه شبیه سازی حالت فوق را نشان می‌دهد. همان گونه که مشخص است خطای سه فاز در فیدر مجاور باعث عملکرد اشتباه رله فیدر (۱) شده است.



شکل (۸)



شکل (۹)

۵- جزیره ای شدن ناخواسته

در مواقعی که به طور ناگهانی و به واسطه عملکرد رله‌های حفاظتی به هنگام وقوع خطا قسمتی از شبکه قطع می‌شود، ممکن است به علت ادامه عملکرد واحدهای تولید پراکنده قسمتی از شبکه به طور جزیره ای به کار خود ادامه دهد و برقدار بماند. در اغلب موارد جزیره ای شدن شبکه به دلایل ذیل مطلوب نیست :

- وصل مجدد قسمت جزیره ای شده به شبکه اصلی بسیار پیچیده است، مخصوصاً وقتی که از بازبست اتوماتیک استفاده شده باشد. این امر ممکن است باعث خرابی تجهیزات و کاهش قابلیت اطمینان شود.
- اپراتور شبکه قادر به گارانتی کردن کیفیت توان در شبکه جزیره ای شده نیست، ممکن است به دلیل عدم تعادل در تولید و بار، ولتاژ و فرکانس غیر نرمال وجود داشته باشد. همچنین سطح اتصال کوتاه ممکن است خیلی پایین بیاید، لذا رله‌های جریان زیاد نتوانند عملکرد مناسبی داشته باشند.
- در هنگام دوباره برقرارکردن قسمت‌های بی برق شده ممکن است مشکل امنیت جانی برای پرسنل تعمیرات شبکه بوجود آید.

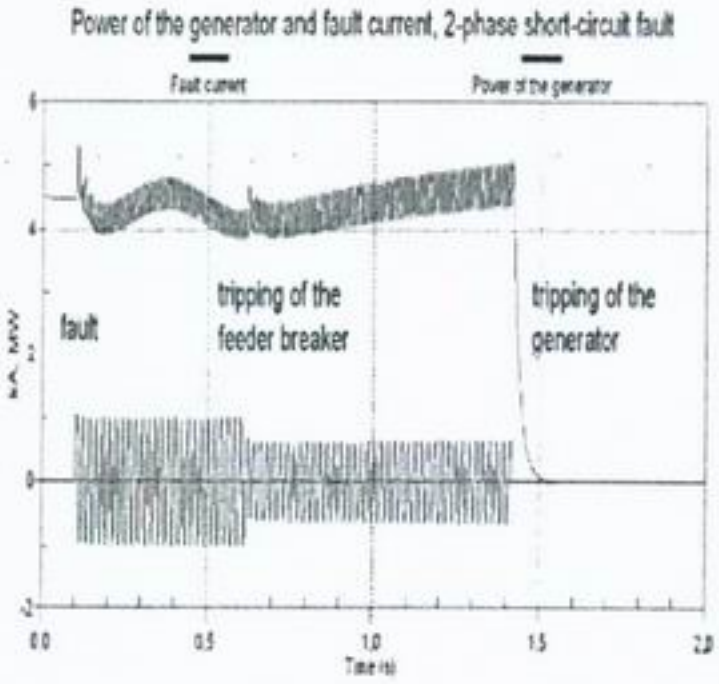
۶- تأثیر حضور DG بر بازبست اتوماتیک

بازبست اتوماتیک در شبکه‌های فشار متوسط هوایی نقش بسیار مهمی در افزایش کیفیت برق دارد.

در شبکه‌های فشار متوسط توزیع حدود ۸۰ درصد خطاها با بازبست سریع و ۱۵ درصد خطاها با بازبست با تأخیر زمانی از بین می‌روند.

بازبست اتوماتیک در شبکه‌های شعاعی به سادگی پیاده سازی می‌شود. حضور منابع تولید پراکنده بر روی فیدر به معنی این است که منابع مختلفی برای تغذیه جریان خطا به وجود آمده اند. در این شرایط بازبست اتوماتیک اثر خود را از دست می‌دهد. واحدهای DG ممکن است جریان خطا را در مدت زمان بازبودن بازبست تأمین کنند و لذا خطای گذرا بدین وسیله تبدیل به خطای دائمی می‌شود و بوسیله بازبست از بین نمی‌رود.

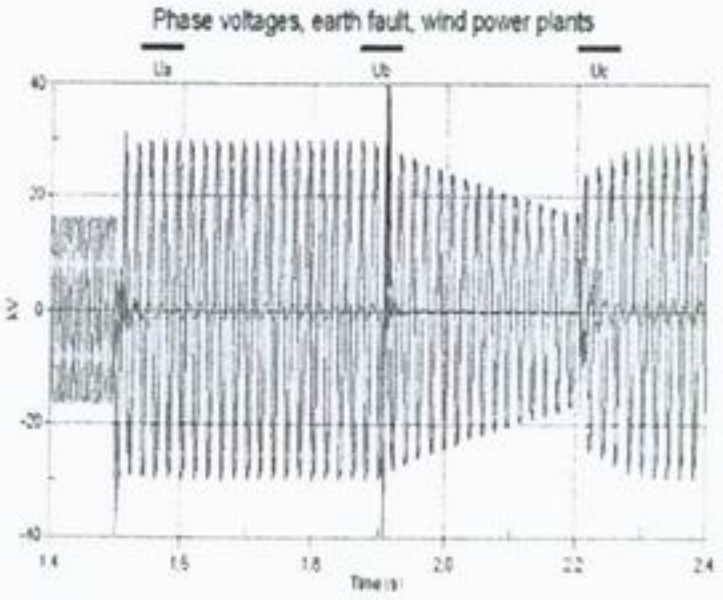
علاوه بر جلوگیری از بازبست موفق، حضور DG می‌تواند باعث بازبست غیرسنکرون نیز بشود، زیرا در زمان باز بودن بازبست، واحد های DG ممکن است شتاب بگیرند، یا کند شوند، لذا در لحظه بستن مجدد بازبست، در بدترین حالت ممکن است شبکه اصلی با جزیره بوجود آمده ۱۸۰ درجه اختلاف فاز داشته باشد. این پدیده باعث بوجود آمدن جریان ها، ولتاژها و گشتاور گذرای شدید می‌شود و خرابی‌های شدیدی در واحدهای DG و تجهیزات شبکه را محتمل می‌سازد. نتایج شبیه سازی یک خطای دو فاز در حضور یک دیزل ژنراتور متصل به یک فیدر توزیع در شکل (۱۰) نمایش داده شده است. با توجه به شکل (۱۰)، نیروگاه به حرکت خود تا یک ثانیه بعد از اینکه کلید فیدر قطع کند ادامه می‌دهد و جریان خطا را تغذیه می‌کند. بعد از ۰/۳ ثانیه باز بودن کلید، اگر بازبست انجام گیرد ناموفق خواهد بود و خطا رفع نمی‌شود.



شکل (۱۰)

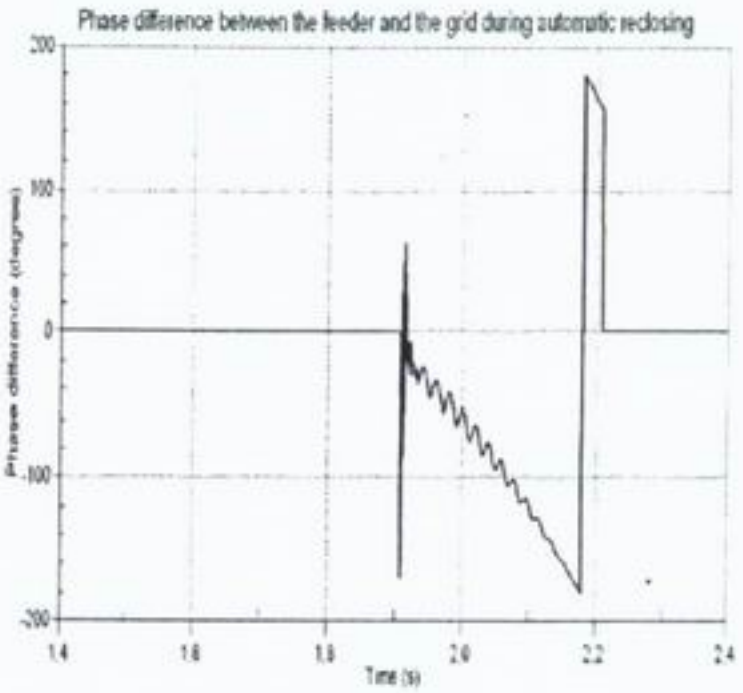
شکل (۱۱) یک ژنراتور آسنکرون (توربین بادی) را در ادامه دادن به عملکرد خود در طول یک خطای تکفاز به زمین، نشان می‌دهد. وقتی خطایی در

لحظه t=1.5s رخ می‌دهد (در شبکه زمین نشده) ولتاژ فازی که در آن خطا رخ داده کاهش می‌یابد، ولی ولتاژ فازهای سالم افـزایش مـی‌یابـد. پـس از تریپ دادن کلید فیـدر در t=1.9s ولتـاژ ژنراتـور بادی هم به تدریج کاهش می‌یابد و یـک بازبـست ناموفق در لحظه t=2.2s مشاهده می‌شود.

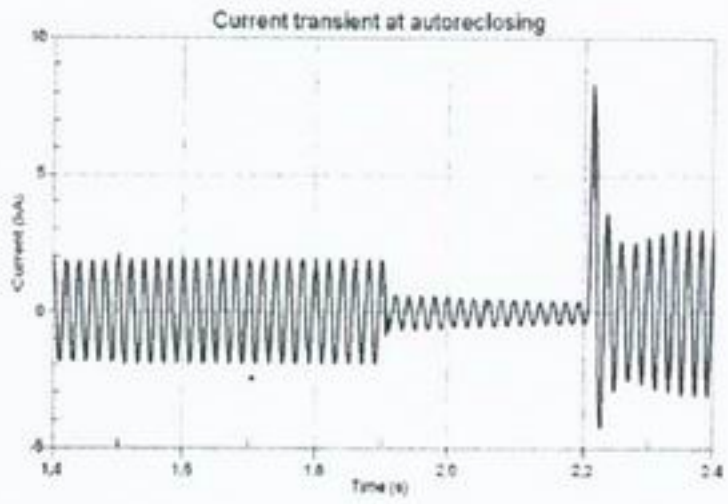


شکل (۱۱)

شکل (۱۲) اختلاف فاز بین فیدر و جزیره بوجـود آمده را در مطالعه فوق نمایش مـی‌دهـد. در ایـن مورد خاص در لحظه وصل مجدد دو شبکه با هـم دقیقاً ۱۸۰ درجـه اخـتلاف فـاز دارنـد و بـدترین شرایط ممکن پدید آمده است. همچنـین جریـان های گذرای بوجـود آمـده ناشـی از بازبـست غیـر سنکرون در شکل (۱۳) قابل مشاهده است.



شکل (۱۲)



شکل (۱۳)

۷- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی اثرات حضور منـابع تولیـد پراکنده بر عملکرد سیـستم حفاظـت شـبکه‌هـای توزیع پرداخته شد. سپس با ذکر مثال‌هایی و بیان نتایج حاصل از شبیه سازی آن مثال‌ها به تـشریح اثرات فوق پرداخته شد.

به طور کلی مشکلات ایجـاد شـده توسـط منـابع تولید پراکنده برای سیستم حفاظت شـبکه هـای توزیع عبارتند از :

- تریپ اشتباه فیدرها
- تریپ اشتباه واحدهای تولیدی
- کور شدن حفاظت
- افزایش و کاهش سطح اتصال کوتاه
- جزیره ای شدن نا خواسته
- جلوگیری از بازبست اتوماتیک
- بازبست غیر سنکرون

با توجه به مطالب یاد شده می‌توان دریافت که حـضور DG در شبکه‌های توزیع به شدت عملکـرد سیـستم حفاظت این شبکه ها را تحـت تـأثیر قـرار مـی‌دهـد.

۸- مراجع

[1] A. Girgis, S. Brahma, "Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System," Power Engineering, LESCOPE '01. 2001 Large ngineering Systems Conference, 11-13 July 2001, pp. 115 – 119.

[2] H. Wan, K.K. Li, K.P. Wong, "An multi-agent approach to protection relay coordination with distributed generators in industrial power distribution system," Industry Applications Conference, Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005, 2-6 Oct. 2005, pp.830 – 836, Vol. 2.

[3] A. Girgis, S. Brahma, " Development of adaptive protection scheme for distribution systems with high penetration of distributed generation," Power Delivery, IEEE Transactions on Volume 19, Issue 1, Jan. 2004, pp.56 – 63.

[4] A. Girgis, S. Brahma, Microprocessor-based reclosing to coordinate fuse and recloser in a system with high penetration of distributed generation," Power Engineering Society Winter Meeting, IEEE, 27-31 Jan.2002, pp.453–458, vol.1.

[5] H. Wan, K.K. Li, K.P. Wong, "Multi-Agent Application of Substation Protection Coordination with Distributed Generators," Future Power Systems, International Conference on 16-18 Nov. 2005, pp.1 – 6.

[6] C.W. So, K.K. Li ," Protection relay coordination on ring-fed distribution network with distributed generations, " TENCON '02. Proceedings, IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering, 28-31 Oct. 2002 pp.1885–1888, vol.3.

[7] S. M. Brahma and A. A. Girgis, "Impact of distributed generation on fuse and relay coordination: analysis and remedies," in Proc. Int. Assoc. Sci. Technol. Develop., Clearwater, FL, 2001, pp. 384–389.

[8] M. T. Doyle, "Reviewing the Impacts of Distributed Generation on Distribution System Protection," Power Engineering Society Summer Meeting, 2002 IEEE Vol.1, pp. 103 - 105.

[9] L. K. Kumpulainen, K. T. Kauhaniemi, "Analysis of the impact of distributed generation on automatic reclosing," Power Systems Conference and Exposition, IEEE PES 10-13 Oct. 2004, Vol.1 pp. 603 - 608.

[10] K. Kauhaniemi, L. Kumpulainen, "Impact of distributed generation on the protection of distribution networks," Developments in Power System Protection, Eighth IEE International Conference , 5-8 April 2004, Vol.1, pp. 315 - 318.

[11] N. Jenkins, R. Allan,P. Crossley, D. Kirschen, G. Strbac, " Embedded Generation," IEE, 2000.

[12] P. Barker, R. W. De Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1 - Radial Power Systems," Presented at IEEE PES summer power meeting, Seattle, WA, July, 2000.

آقای سید علی محمد جوادیان فیروزآبادی دارای لیسانس مهندسی برق- قدرت از دانشکده فنی دانشگاه تهران بوده و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق- قدرت دانشگاه تربیت مدرس می‌باشد. آقای جوادیان از سال ۸۴ همکاری خود را با شرکت قدس نیرو آغاز کرده و زمینه علاقمندی ایشان حفاظت شبکه‌های قدرت به خصوص شبکه‌های توزیع با در نظر گرفتن اثرات منابع تولید پراکنده و سیستمهای اتوماسیون می‌باشد.

E-mail: ajavadian@yahoo.com
E-mail: ajavadian@ghods-niroo.com

کتب چاپ شده شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو

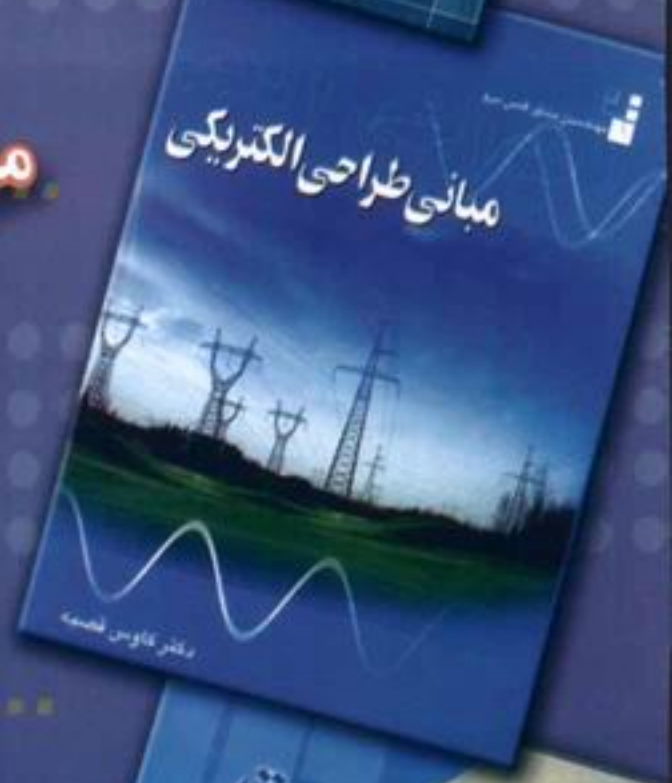
FACTS

مترجم : احمدفریدون درافشان

نویسندگان : نارین جی و
لازلو گایوگی

مبانی طراحی الکتریکی

نویسنده :دکتر کاوس قصبه



مدیریت پروژه

نویسنده : مسعود زکی پور

همکارانی که تمایل دارند کتابهای مذکور را خریداری نمایند به دبیرخانه مرکزی شرکت مراجعه و از ۵۰٪ تخفیف بهره‌مند شوند.

مهندسین مشاور قدس نیرو

تهران، خیابان استاد مطهری، چهارراه سهروردی، شماره۹۸
کدپستی:۱۵۶۶۷۷۵۷۱۱

تلفن:۸۸۴۰۳۶۱۳ ـ ۸۸۴۳۰۴۵۴
فکس:۸۸۴۱۱۷۰۴

NO.98 OSTAD MOTAHARI AVE, TEHRAN 156675711 - IRAN
TEL:88403613 - 88430454
FAX:88411704
E-mail:info@ghods-niroo.com