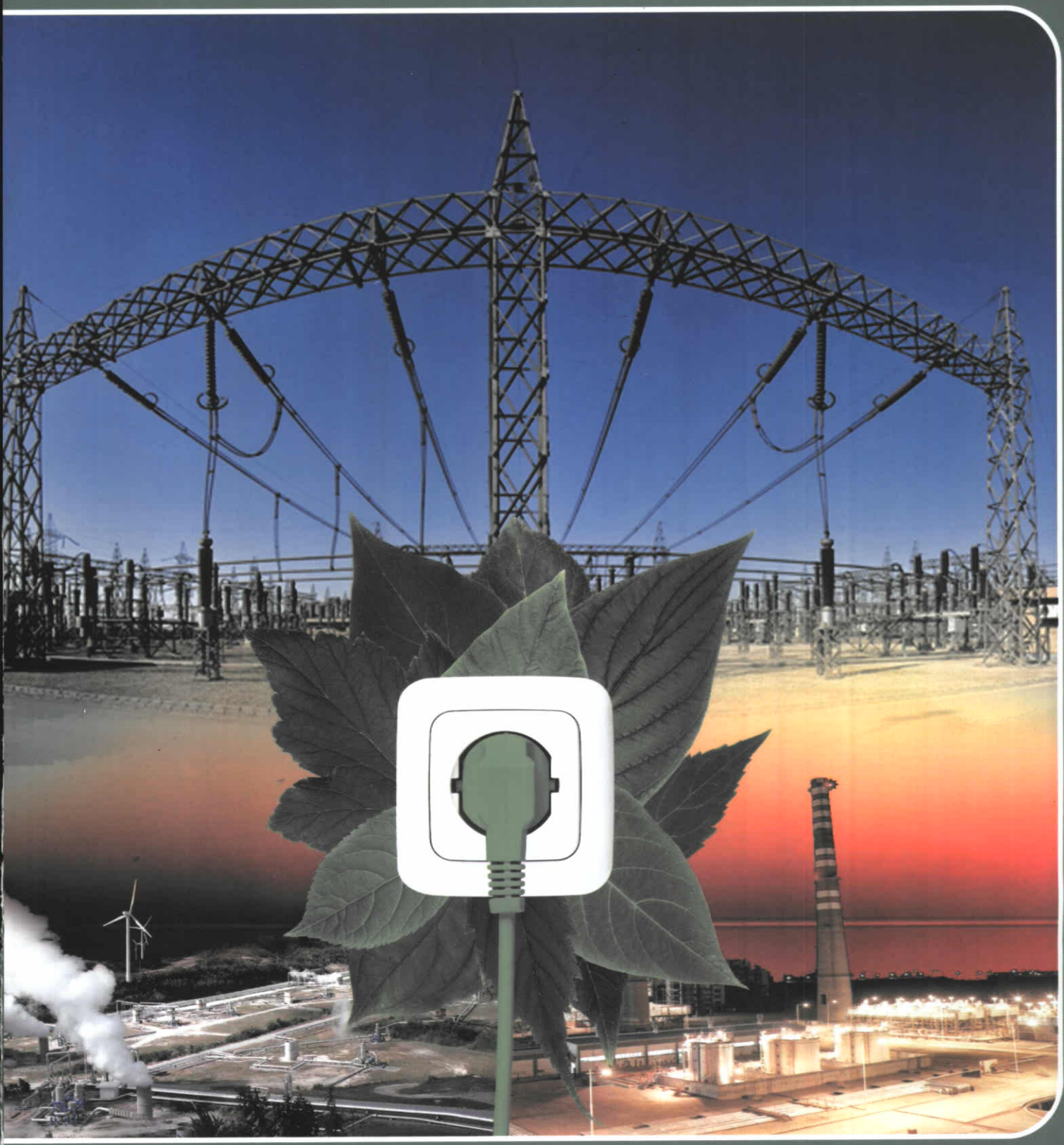
شرکت مهندسی

قدس نیرو

نشریه فنی تخصصی قدس نیرو
شماره ۴۰ – بهار ۱۳۹۱



شرکت مهندسی قدس نیرو
GHODS NIROO ENG.CO.

www.ghods-niroo.com

مدیریت ارشد مهندسی انرژیهای تجدید پذیر

واحد انرژی فعالیت خود را از سال ۱۳۸۴ تحت عنوان "انرژیهای نو" در کنار واحدهای نیروگاهی شرکت شروع نموده و در حال حاضر بعنوان یک واحد مستقل تحت عنوان "واحد انرژی" عمل می‌نماید.

- ارائه مشاوره در زمینه استفاده کاربردی از انرژیهای تجدیدپذیر در کشور جزء اصلی ترین خدمات بخش انرژی شرکت مهندسی قدس نیرو بشمار می رود.
- واحد انرژی آمادگی انجام پروژه‌های مطرح شده در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر شامل زیست‌توده، تولید هیدروژن و پیل سوختی، بادی، خورشیدی و زمین گرمایی را دارد.
- درزمینه بهینه سازی انرژی آمادگی انجام پروژه های CHP & CCHP (تولید برق و حرارت و برودت همزمان)، توربین های انبساطی،ممیزی انرژی در زمینه های نیروگاه و صنعت و ساختمان ، همچنین استقرار مدیریت انرژی در واحد انرژی وجود دارد.

پروژه های انجام گرفته یا در حال انجام در واحد انرژی به شرح ذیل می باشد.

در زمینه انرژیهای تجدیدپذیر :

- طرح احداث ۲۵۰ مگاوات نیروگاه بادی
- امکان سنجی ، پتانسیل سنجی و طراحی اولیه نیروگاه زیست توده با استفاده از پسماند های جامد شهری
- احداث پایلوت‌های سازگار با محیط زیست (سایت طالقان)
- مطالعات انتخاب ساختگاه نیروگاه اتمی
- مطالعات امکان سنجی ۱۰۰ مگاوات نیروگاه بادی رویان(مشهد)
- مطالعه و توجیه فنی و اقتصادی استحصال انرژی از جایگاه دفن زباله لیا(قزوین)

در زمینه بهینه سازی انرژی :

- ممیزی انرژی نیروگاه بعثت
- مطالعات احداث نیروگاههای کوچک (اهواز)
- ممیزی انرژی ساختمانهای ندامتگاههای اوین و بوشهر
- نظارت بر ممیزی انرژی نیروگاههای رامین، تبریز و لوشان
- مطالعات اصلاح الگوی مصرف در شهرکهای صنعتی کاسپین قزوین و پرند تهران
- ممیزی انرژی ساختمانهای قدس نیرو
- انجام خدمات مشاوره پروژه مطالعاتی بهینه سازی نیروگاهها

آدرس : تهران، خیابان استاد مطهری،
بعد ازچهارراه سهروردی، شماره ۸۲
کدپستی : ۱۵۶۶۷۷۵۳۵۳
تلفن : ۸۸۴۰۳۶۱۳-۸۲۴۰۴۰۰۰
فاکس : ۸۸۴۱۱۷۰۴

No,82 Ostad Motahari Ave.
Tehran1566775353/IRAN
Tel (+9821)88403613- 82404000
Fax:(+9821) 88411704
WWW.ghods-niroo.com

بسمه تعالی

نشریه فنی تخصصی قدس نیرو
شماره ۴۰- بهار ۱۳۹۱
مدیر مسئول: دکتر محمود مقدم
سـر دبیـر : مهندس فتانه دوستدار

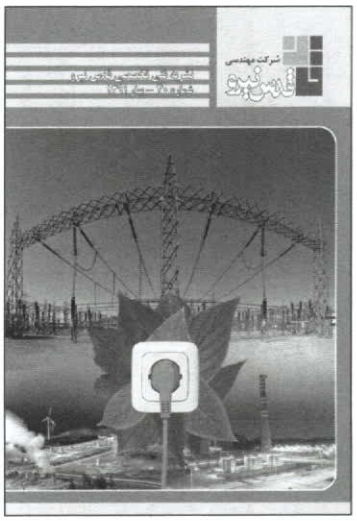
با تشکر از همکاری آقایان:

- مهندس احمد اهرابی
- مهندس حسین بختیاری‌زاده
- مهندس ضیاءالدین خواجه کریم الدینی
- مهندس احمد فریدون درافشان
- مهندس میر داود حسینی میلانی
- مهندس علی شاه حسینی
- دکتر همایون صحیحی
- مهندس منصور قزوینی

از مدیر و همکاران محترم امور پشتیبانی سپاسگزاریم.

هیئت داوران:

مهندس پورنگ‌پاینده، مهندس مسعود حبیب‌ا...زاده، مهندس فتانه دوستدار، مهندس رضا رضوی،مهندس داریوش‌چگینی،مهندس داودزاور، مهندس‌فرهادشاهمنصوریان، دکترجعفرعسگری، مهندس‌آرمین علیدوستی، مهندس امیرهمایون‌فتحی، مهندس‌بهرام‌کرمانی، مهندس علی‌اصغرکسائیان، مهندس محسن کمالی‌زاده، مهندس‌بهزادمرادی، مهندس وحید مرتضوی، مهندس مهرداد مستقیمی، مهندس الهام ملکی، مهندس محمدرضانصرالهی، مهندس‌رسول‌نحوی‌زاده، مهندس بهروز هنری.



فهرست مطالب

- **معرفی** ۱
- **بررسی وضعیت کاربرد انواع تکنولوژی‌های هضم بی هوازی مواد زائد جامد شهری در اروپا جهت الگو برداری در ایران- علیرضا شکوه** ۲
- **طراحی بهینه ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه(DFIG)- فرید خزائلی مقدم** ۱۵
- **کاربرد روش ژئوتوموگرافی لرزه ای در تعیین کیفیت سنگ ساختگاه سد رودبار لرستان- فروزان فرخ پور، محمد رضا قیطانچی** ۲۴
- **الگوریتم مدیریت استراتژیک با تاکید بر بستر سازی استراتژی وبکارگیری مدل بلوغ مدیریت فرایندهای کسب و کار پیشنهادی - راحله نعمتی** ۳۰
- **بررسی پدیده مخفی شدن و برگشت فسفات در نیروگاه یزد- حسین حق پرست، حسین نعیمی، زهرا جوکار** ۴۵

این نشریه از طریق اینترانت قدس‌نیرو در دسترس همکاران 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.

بررسی وضعیت کاربرد انواع تکنولوژی های هضم بی هوازی مواد زائد جامد شهری در اروپا جهت الگو برداری در ایران

علیرضا شکوه

کارشناس عمران- محیط زیست -SBU انرژی

چکیده

یکی از گزینه های تصفیه مواد زائد جامد شهری استفاده از تکنولوژی های هضم بی هوازی است که استفاده از آن در دنیا و بخصوص کشورهای اروپایی روبه افزایش است. از آنجاییکه بخش زیادی از مواد زائد جامد شهری تولیدی در ایران از نوع پسماندهای فساد پذیر می‌باشد، این روش می تواند به عنوان گزینه ای مناسب جهت تصفیه پسماندهای شهری در کشور بکار گرفته شود. اما جهت کاربرد مناسب این روش در کشور بایستی از تجربیات کشورهای پیشتاز در این زمینه استفاده شود. لذا در این تحقیق به بررسی وضعیت هضم بی هوازی مواد زائد جامد شهری در کشورهای پیشتاز در این زمینه و نوع تکنولوژی های بکار برده شده می پردازیم.

۱-مقدمه

مدیریت زباله های تولید شده در جوامع شهری از جمله مشکلاتی است که همه کشورهای دنیا با آن مواجه هستند. عدم مدیریت مناسب این زباله ها می تواند منجر به بروز صدمات زیست محیطی خطرناکی شده و از سویی، دفع و تصفیه این مواد هزینه بر می باشد. لذا بایستی روش هایی جهت مدیریت این زباله ها اتخاذ شود که علاوه بر کاهش اثرات مخرب زیست محیطی از نظر اقتصادی به صرفه باشد. از این رو جوامع مختلف با توجه به ترکیب زباله تولیدی و شرایط زیست محیطی و اقتصادی خود، روش های ترکیبی گوناگونی را مانند دفن در لندفیل ها، استفاده از زباله سوزها، کمپوست و هضم بی هوازی زباله بکار برده اند. هضم بی هوازی یک روش تصفیه بیولوژیکی است که پسماندهای آلی را تبدیل به مواد معدنی می کند. هضم بی هوازی مزیت های اقتصادی زیادی دارد. سیستم هضم بی هوازی یک تولید کننده انرژی است و به ازای تصفیه هرتن مواد زائد جامد شهری می تواند ۱۵۰-۷۵ کیلووات ساعت الکتریسیته تولید کند. همچنین مواد هضم شده حاصل از این روش می تواند پس از تصفیه تکمیلی به عنوان کود جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار بگیرد.

۲-مکانیسم واکنش هضم بی هوازی

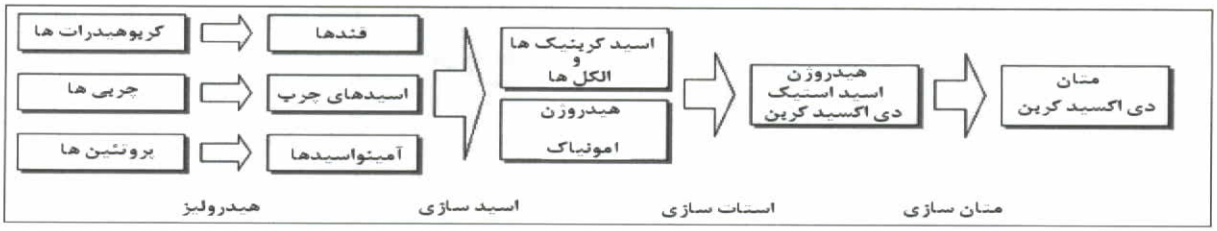
واکنشهای هضم بی هوازی مشتمل بر یک سری فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی است که در غیاب اکسیژن و در حضور ارگانیسمهای بیهوازی و آب، مواد آلی تجزیه شده و در نهایت گازی تولید می‌شود که بخش عمده ای از آن مخلوطی از گازهای متان و دی اکسید کربن (بیوگاز) است. فرایند هضم می‌تواند با بازدهی متفاوت جهت تجزیه هر نوع ماده حاوی کربن مانند مواد غذایی، فاضلاب، کاغذ، پسماندهای باغبانی و مواد زائد جامد شهری استفاده شود.همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، کل فرایند هضم بی هوازی را می توان به چهار مرحله تقسیم کرد:

- هیدرولیز که در آن مولکول های پیچیده شکسته شده و به مولکول های ساده تر تبدیل می شوند.
- فاز اسیدوژنیک یا اسید ساز که در این مرحله اسیدهای آلی تولید می شوند.
- فاز استوژنیک یا استات ساز که فاز تولید استات ها است.
- فاز متانوژنیک یا متان ساز که در این مرحله استات و هیدروژن به متان تبدیل می شوند.

فرایند هضم فقط در صورت گذراندن همه این مراحل تکمیل خواهد شد. در هرکدام از این مراحل میکروارگانیزمهای خاص آن مرحله با شرایط فیزیولوژیکی منحصر به فرد مسئول انجام واکنش ها هستند .

۳-تقسیم بندی انواع هاضم بی هوازی جهت هضم مواد زائد جامد

هاضم های بی هوازی از دیدگاه های مختلف قابل بررسی و تقسیم بندی می باشند. به طور مثال می توان این هاضم ها را از لحاظ نوع خوراک دهی، تعداد راکتورها، زمان ماند، نوع اختلاط، بازچرخانی شیرابه و... تقسیم بندی کرد. در این



شکل(۱): مراحل هضم بی هوازی

تحقیق سعی می‌شود با استفاده از برخی از این فاکتورها، تقسیم بندی جامعی از هاضم های بی هوازی ارائه شود . ابتدا هاضم‌ها بر اساس نوع خوراک دهی به دو دسته راکتورهای پیوسته و نا پیوسته تقسیم می شوند. هاضم های پیوسته بر اساس تعداد راکتورها به دو نوع "تک مرحله ای" و "دو یا چند مرحله ای" تقسیم می شوند. هر کدام از این راکتورها بر اساس درصد مواد جامد در خوراک ورودی به دو دسته هاضم با غلظت بالای مواد جامد (خشک) و هاضم با غلظت پایین مواد جامد (تر) تقسیم می شوند.بنابراین تقسیم بندی، در هاضم های حاوی مقدار جامدات پایین (LS) یا تر، غلظت کل جامدات (TS) کمتر از ۱۵ در صد می باشند و در هاضم های حاوی مقدار جامدات بالا (HS) یا خشک، غلظت TS در محدوده ۴۰-۱۵ درصد می باشد. راکتورهای ناپیوسته را می توان بر اساس تعداد و ترکیب راکتورها، به سه نوع راکتور ناپیوسته تک مرحله ای، راکتورهای ناپیوسته متوالی و راکتورهای ناپیوسته هیبریدی تقسیم کرد.در شکل(۲) تقسیم بندی کلی هاضم‌های بی‌هوازی باجریان پیوسته و در شکل (۳) تقسیم بندی هاضم‌های بی هوازی با جریان ناپیوسته نشان داده شده است.

۳-۱-سیستم های تک مرحله ای

همانطور که قبلاً توضیح داده شد هضم بی هوازی مواد آلی و تولید بیوگاز از آن طی چند فاز صورت می گیرد که به طور خلاصه این فازها به ترتیب عبارتند از: هیدرولیز، اسید سازی و متان سازی. در راکتورهای تک مرحله ای تمام این مراحل به صورت هم زمان در یک راکتور اتفاق می افتد در صورتیکه در راکتورهای دو یا چند مرحله ای، این مراحل به صورت متناوب، حداقل در دو راکتور اتفاق می افتد. براساس غلظت جامدات داخل راکتور، این هاضم ها به دو دسته "تر" و "خشک" تقسیم بندی می شوند.

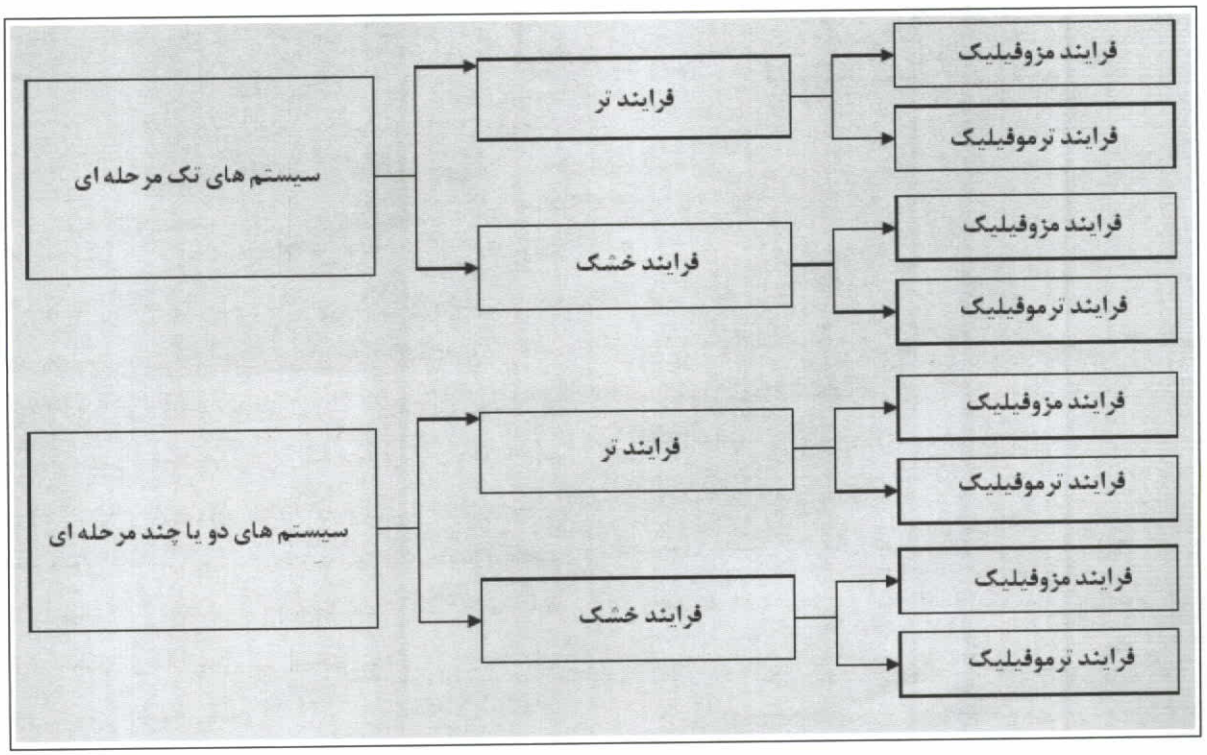
۳-۱-۱- سیستم های تک مرحله ای "تر"

راکتورهای تک مرحله ای "تر" به دلیل سادگی طرح، کاربرد فراوانی دارند. همچنین بهره برداری موفقیت آمیز از این راکتورها طی چندین دهه جهت هضم لجن حاصل از تصفیه فاضلاب، از عوامل تمایل به استفاده از این راکتورها می باشد. الگوی غالب راکتورهای تک مرحله ای "تر"، راکتور اختلاط کامل با تغذیه پیوسته[1] می باشد. بسته به ترکیب مواد زائد و درجه حرارت راکتور، زمان ماند متداول در این راکتورها بین ۲۸-۱۴ روز است. زمان ماند در محدوده دمایی مزوفیلیک حدود ۲۰ روز است و در محدوده دمایی ترموفیلیک تا ۱۰ روز هم کاهش می یابد.

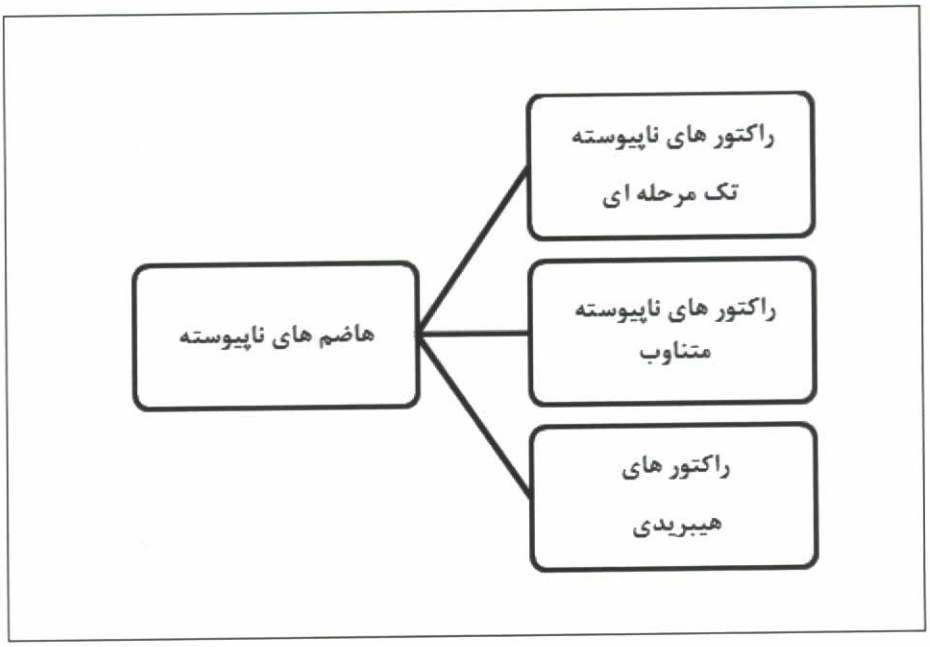
۳-۱-۲- سیستم تک مرحله ای "خشک"

تحقیقات انجام شده در طی دهه ۸۰ نشان داد که ترخ تولید متان در سیستم های خشک از سیستم هایی که در آن مواد زائد جامد با آب رقیق می شوند، بیشتر است. مشکل اصلی سیستم های خشک انتقال، پمپاژ و مخلوط کردن جریان مواد زائد است. در سیستم های خشک، میزان جامدات در حال هضم در داخل راکتور بین ٪۴۰-۲۰ نگه داشته می شود. از این رو نیاز است به پسماند های خیلی خشک (دارای TS بزرگتر از ٪۵۰) آب اضافه شود. مشخصات فیزیکی ناشی از درصد بالای جامدات در سیستم های "خشک"، روش ها و تجهیزاتی را برای انتقال، اختلاط و پیش تصفیه مواد زائد جامد تحمیل می‌کند که به طور کلی با تجهیزات بکار رفته در سیستم های "تر" متفاوت است. در سیستم های خشک انتقال مواد زائد از طریق استفاده از تسمه نقاله ها، اسکرو و پمپ های قوی مخصوص انتقال جریان های با ویسکوزیته بالا صورت می گیرد. این تجهیزات از تجهیزات بکار رفته در سیستم های "تر" نظیر پمپ های سانتریفوژ بسیار گران تر است. از آنجاییکه در

1-Compeletly Stired Tank Reactor(CSTR)



شکل (۲): تقسیم بندی هاضم های بی هوازی با جریان ناپیوسته



شکل(۳): تقسیم بندی هاضم های بی هوازی با جریان ناپیوسته

جدول (۱): مزایا و معایب سیستم تک مرحله ای تر

معیار	مزایا	معایب
فنی	• فرایندی شناخته شده است	• ایجاد جریان های کوتاه • شناور شدن مواد سبک و ته نشین شدن مواد سنگین • پیش تصفیه پیچیده
بیولوژیکی	• جهت رقیق کردن و کاهش غلظت ممانعت کننده ها نیاز به اضافه کردن آب تمیز است	• حساسیت زیاد به شوک های ناشی از مواد ممانعت کننده • حذف قسمتی از مواد جامد فرار همراه با مواد بی اثر و پلاستیک ها
اقتصادی و زیست محیطی	• تجهیزات انتقال دوغاب حاصل از مواد زائد ارزان است اما در عوض هزینه ناشی از مراحل پیش تصفیه و راکتور بزرگتر گران است	• مصرف زیاد آب • مصرف زیاد انرژی برای گرمایش راکتورهای بزرگ • هزینه ناشی از مراحل پیش تصفیه و راکتورهای بزرگ گران است

سیستم های خشک پسماندهای حاوی TS بین۲۰ تا ۴۰ درصد می توانند حمل و نقل شوند، ناخالصی هایی مانند سنگ‌ها، شیشه و یا چوب باعث ایجاد هیچ ممانعتی نمی شوند و سطح پیش تصفیه در این تکنولوژی ها نسبت به تکنولوژی‌های تر کمتر می‌باشد به دلیل ویسکوزیته بالای پسماند در سیستم‌های "خشک"، الگوی حرکت جریان پسماند داخل راکتورهای خشک از نوع نهرگونه می باشد. بر خلاف سیستم‌های "تر" که معمولاً از راکتورهای اختلاط کامل استفاده می شود. جریان نهرگونه در راکتور ها باعث ایجاد مزایای فنی از جمله عدم نیاز به میکسر مکانیکی در داخل راکتور می شود.

۳-۲- سیستم های دو یا چند مرحله ای

دلیل استفاده از راکتورهای دو یا چند مرحله ای انعطاف پذیری بالای این سیستم ها نسبت به شرایط مختلف است. تبدیل مواد آلی به بیوگاز طی چند مرحله واکنش بیولوژیکی متوالی اتفاق می افتد که شرایط بهینه انجام این واکنش ها لزوماً یکی نیست. بهینه کردن جداگانه شرایط این واکنش ها به نرخ واکنش بزرگتر (درجه تکمیل بیشتر) و بهره بیوگاز بیشتر منتهی می‌شود. معمولاً در راکتورهای دو مرحله‌ای، واکنش‌های مربوط به اسید سازی در راکتور اول اتفاق می افتد که در این مرحله هیدرولیز سلولز تعیین کننده (محدود کننده) نرخ واکنش است .

و در راکتور دوم واکنش های مربوط به فاز استات سازی و متان‌زایی انجام می شود که در این مرحله سرعت پایین رشد باکتری های متان زا عامل تعیین کننده (محدود کننده) نرخ واکنش است. پیچیدگی فنی سیستم های دومرحله ای باعث نمی شود که همیشه انتظار برودکه نرخ تجزیه پسماندها و بهره بیوگاز در این سیستم ها نسبت به سیستم‌های تک مرحله ای بیشتر باشد. در واقع مزیت اصلی راکتورهای دو مرحله ای نرخ واکنش تئوریکی بیشتر نیست بلکه پایداری بیولوژیکی بالا در مقابل پسماندهایی است که باعث ایجاد شرایط ناپایدار در راکتورهای تک مرحله ای می شوند. قابلیت اطمینان بیولوژیکی به وسیله ایجاد محیط بافری مناسب و اختلاط مناسب مواد زائد ورودی همراه با کنترل دقیق نرخ خوراک ورودی حاصل می شود. عملکرد ناپایدار، هم می تواند به وسیله نوسانات OLR ناشی از ناهمگنی مواد زائد یا ناپیوستگی خوراک ورودی و یا توسط پسماندهایی که حاوی مقادیر بیش از حد مواد ممانعت کننده نظیر نیتروژن هستند، ایجاد شود.

۳-۲-۱- راکتورهای دو مرحله ای تر

در این سیستم ها ابتدا پسماندهای شهری در مرحله پیش تصفیه با اضافه کردن آب تازه و یا استفاده از پساب برگشتی سیستم، به صورت دوغاب درآورده می شوند. سپس محلول دوغاب حاصل شده جهت تصفیه به راکتور هیدرولیز فرستاده می شود. پس از این مرحله، خروجی راکتور هیدرولیز به یک

راکتور متان زا با سرعت هضم بالا فرستاده می شود.از نقطه نظر فنی سیستم های چندمرحله ای تر همان محدودیت ها و مشکلات سیستم تک مرحله ای "تر" را دارد. به عبارت دیگر این محدودیت ها عبارتند از: شکل گیری مدار کوتاه، ته نشینی مواد سنگین، گرفتگی تیغه های پروانه ها یا مواد پلاستیکی، انسداد لوله ها با اشیائی نظیر چوب و حذف ۱۰ تا ۳۰ درصد مواد جامد فرار ورودی به وسیله حذف بخشی از مواد در چنگک ها در هیدروپالپر. علاوه بر این مشکلات فنی پیچیدگی طرح باعث افزایش سرمایه گذاری در این طرح ها می شود.

۳-۲-۲- راکتورهای دو مرحله ای خشک

در این سیستم ها که سیستم دومرحله ای "خشک" یا سیستم دو مرحله ای "خشک- تر" نامیده می شوند، مرحله اول که فاز هیدرولیز می باشد، در شرایط خشک انجام شده و معمولاً مواد خروجی از این مرحله آبگیری شده و مایع حاصل از آبگیری به راکتور دوم فرستاده می شود و مواد جامد باقی مانده در معرض تصفیه هوازی قرار می گیرند. مدافعان استفاده از طرح های فرایند هضم چند مرحله ای به مزیت بالا بودن OLR در همه انواع راکتورهای چند مرحله ای استناد می کنند. میزان بالای OLR به دلیل زمان ماند بالای زیست توده می باشد زیرا غلظت بالای زیست توده مقاومت باکتری های متان زا را در مقابل غلظت های بالای آمونیاک افزایش می دهد. ثبات بیولوژیکی ایجاد شده ظرفیت افزایش OLR را بالا می برد. اما OLR بالا منجر به افزایش نرخ بهره بیوگاز نمی شود. در عمل به دلیل حذف جامداتی که شامل مواد تجزیه پذیر بیولوژیکی هستند، پس از هیدرولیز و قبل از خوراک دهی به راکتور متانوژنیک، نرخ بهره بیوگاز پایین می باشد. در سال های اخیر سیستم های تک مرحله ای هم به OLR بالا دست یافته اند و لذا به این روش و با این مزیت با سیستم های چند مرحله ای می‌توان رقابت نمود.

۳-۳- سیستم های ناپیوسته (Batch)

در سیستم های ناپیوسته هاضم ابتدا با زباله‌های تازه پر می‌شود و پس از آن با یا بدون اضافه کردن مواد تلقیح کننده، به سیستم اجازه داده می‌شود تا همه مراحل تجزیه را به صورت متوالی در شرایط خشک یا به عبارت دیگر در غلظت TS برابر ٪۴۰-۳۰ پشت سر بگذارد. سیستم های ناپیوسته ممکن است تشبیه شوند به یک لندفیل که به جای زمین در آن از یک مخزن استفاده شده است اما نرخ تولید بیوگاز در این سیستم‌ها ۱۰۰-۵۰ برابر بیشتر از مقداری است که در لندفیل ها مشاهده می‌شود. این بالا بودن نرخ تولید بیوگاز به دو دلیل است. اولین دلیل این است که شیرابه تولیدی در این سیستم‌ها مرتبا بازچرخانی شده و این امر باعث می شود مرتبا ماده تلقیحی، نوترینت ها و اسید ها به سیستم تزریق شوند. همچنین این امر باعث ایجاد اختلاط جزئی در سیستم می شود. دلیل دوم این است که سیستم های ناپیوسته در درجه حرارت بالاتر از لندفیل ها بهره برداری می شوند. اما ویژگی‌های خاص فرایندهای‌ناپیوسته مانند سادگی‌طرح و کنترل آسان فرایند، مقاومت نسبت به آلاینده های سنگین و درشت و هزینه‌های

جدول (۲): مزایا و معایب سیستم تک مرحله ای خشک

معیار	مزایا	معایب
فنی	• عدم نیاز به هیچ گونه وسیله مکانیکی در داخل راکتورجهت ایجاد اختلاط • عدم نیاز به حذف مواد بی اثر و پلاستیک‌ها • عدم ایجاد جریان کوتاه	• قادر به تصفیه پسماندهای تر (با TS کمتر از ٪۲۰) نمی باشد
بیولوژیکی	• مقدار کمی از جامدات فرار در پیش تصفیه حذف می شود • قابلیت بار گذاری (OLR) بالا (غلظت بالای زیست توده) • مقاومت بالا در مقابل شوک های ناشی از ممانعت کننده ها	• احتمال اینکه بتوان غلظت مواد ممانعت کننده را رقیق کرد، کم است
اقتصادی و زیست محیطی	• مراحل پیش تصفیه ارزانتر و حجم راکتور کمتر • گندزدایی کامل • مصرف آب خیلی کم • نیاز به گرمایش کمتر	• نیاز به تجهیزات قوی و گران قیمت برای انتقال جریان پسماند

جدول (۳): مزایا و معایب سیستم دو مرحله ای

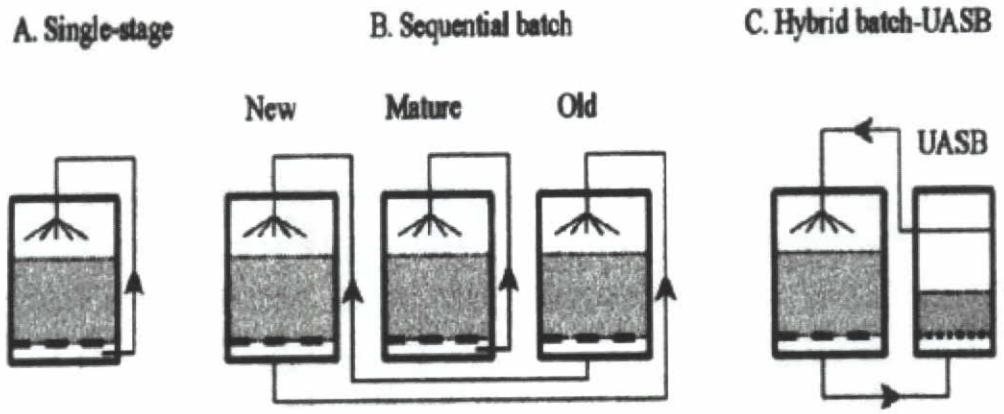
معیار	مزایا	معایب
فنی	• انعطاف پذیری طرح	• پیچیدگی طرح
بیولوژیکی	• قابل اطمینان برای تصفیه پسماندهای غذایی حاوی مقادیر کم سلولز • تنها طرح قابل اطمینان (طرح مجهیز به نگه داشت زیست توده) برای تصفیه پسماندهای با نسبت C/N کمتر از ۲۰	• نرخ بهره پایین بیوگاز
اقتصادی و زیست محیطی	- مقادیر کمی از فلزات سنگین در کمپوست آن وجود دارد (در مواقعی که مواد جامد به فاز متان زایی نمی رسند)	• هزینه سرمایه گذاری بالاتر

پایین سرمایه گذاری باعث تمایل به استفاده از این سیستم ها بخصوص در کشورهای جهان سوم شده است.. سه نوع اساسی این سیستم، طراحی شده اند که تفاوت آنها در مورد محل مراحل اسید سازی و متان زایی است (شکل ۴). در سیستم ناپیوسته تک مرحله ای، شیرابه به بالای همان راکتوری که در آن تولید می شود، بازچرخانی می شود .

در راکتورهای ناپیوسته متوالی، که مشابه سیستم های چند مرحله‌ای است پسماندها به ترتیب از راکتور اول به راکتور بعدی منتقل می شوند. در این سیستم ها شیرابه حاصل از راکتوری که با پسماندهای تازه پر می شود و حاوی مقادیر زیادی از اسیدهای آلی است به راکتوری که در آن فاز متان زایی اتفاق می افتد، فرستاده می شود. شیرابه حاصل از آخرین راکتور که فاقد اسید و حاوی بیکربنات‌های خنثی کننده pH است، به راکتور جدید برگشت داده می شود. این ترکیب باعث تلقیح عرضی بین راکتورها با فاز مختلف شده و به این ترتیب دیگر به مخلوط کردن پسماندهای قدیمی و تازه به منظور تلقیح کردن میکروارگانیزمها به پسماندهای تازه نیازی نیست. مشخصات فنی راکتورهای ناپیوسته متوالی همانند راکتورهای تک مرحله‌ای می‌باشد. در نهایت در طرح ترکیبی راکتور ناپیوسته- UASB واکنش‌های متان زایی در راکتور UASB اتفاق می افتد. راکتور UASB که در آن میکروارگانیزمها به صورت لجن های گرانوله هستند برای تصفیه پساب خروجی حاوی مقادیر زیاد اسید آلی با نرخ بارگذاری بالا مناسب هستند. از آنجاییکه از نقطه نظر فنی سیستم های ناپیوسته ساده هستند، هزینه های سرمایه گذاری در این سیستم ها به طور چشمگیری (حدوداً ۴۰ درصد) کمتر از سیستم هایی با ظرفیت مشابه با تغذیه پیوسته می باشد. اما زمین مورد نیاز در سیستم‌های ناپیوسته بسیار بزرگتر از سیستم های خشک با ظرفیت مشابه و تغذیه پیوسته می باشد زیرا ارتفاع سیستم‌های ناپیوسته حدوداً ۵ برابر کمتر و مقدار OLR در آنها حدود ۲ برابر کمتر است. در نتیجه زمین مورد نیاز در این سیستم ها به ازای تصفیه هر تن زباله حدود ۱۰ برابر بیشتر است. از سوی دیگر به نظر می‌رسد هزینه های بهره برداری در سیستم های ناپیوسته با سایر سیستم ها قابل مقایسه باشد. در جدول (۴) مزایا و معایب سیستم‌های هضم بی هوازی ناپیوسته به اختصار بیان شده است.

۴-وضعیت هضم بی هوازی مواد زائد جامد شهری در اروپا

استفاده از هضم بی هوازی جهت تصفیه مواد زائد جامد در طی سال های اخیر به طور مداوم در حال افزایش بوده است. همچنین پروتکل‌ها و قوانین وضع شده ناشی از کاهش منابع انرژی منجر به افزایش سریع انرژی های نو مانند هضم بی هوازی شده است. از این رو هضم بی هوازی و تولید بیوگاز از آن، در دنیا به عنوان جایگزینی برای سوخت های فسیلی در حال افزایش می باشد. هم اکنون این تکنولوژی از هدف اولیه آن که تصفیه پسماندهای جامد و مایع می باشد، فراتر رفته و به صنعتی جهتی تولید انرژی پاک تبدیل شده است. در کشور آمریکا سالانه مقادیر زیادی انرژی گرمایی و الکتریکی از بیوگاز



شکل (۴): انواع سیستم هاضم ناپیوسته

جدول (۴): مزایا و معایب سیستم های ناپیوسته

معیار	مزایا	معایب
فنی	• سادگی • تکنولوژی پایین • مقاوم در مقابل پسماند های حجیم	• گرفتگی • نیاز به عوامل حجیم کننده • امکان انفجار در هنگام تخلیه راکتور
بیولوژیکی	• فرایند قابل اطمینان به علت وجود چند راکتور	• بهره بیوگاز پایین • نرخ بارگذاری پایین
اقتصادی و زیست محیطی	• ارزان و مناسب برای کشورهای در حال توسعه • مصرف آب کم	• نیاز به زمین بزرگ

حاصل از هضم بی هوازی لجن حاصل از تصفیه فاضلاب و فضولات حیوانی دامداری ها حاصل می شود. در انتهای سال ۲۰۱۰ در چین حدود ۵۰ میلیون خانه از بیوگاز استفاده کرده اند. در انتهای همین سال مجموع خانه هایی که در کشور هند از بیوگاز تولیدی ناشی از هضم بی هوازی استفاده می کردند، در حدود ۴/۳ میلیون خانه بود. اما در زمینه هضم بی هوازی پسماندهای جامد، کشورهای اتحادیه اروپا سرآمد هستند.

هضم بی هوازی مواد زائد جامد شهری در اروپا در سال ۱۹۹۰ در مقیاس صنعتی آغاز شد. اولین طرح بزرگ هضم بی هوازی مواد زائد جامد در اروپا در سال ۱۹۹۰ با ظرفیت ۸۷۰۰۰ تن در سال بهره برداری شد. پس از آن ظرفیت طرح های هضم بی هوازی مواد زائد جامد افزایش یافت. تا انتهای سال ۲۰۱۰ تعداد بیش از ۲۰۰ طرح هضم بی هوازی مواد زائد جامد شهری با ظرفیت کلی حدود ۶ میلیون تن بر سال در ۱۷ کشور اروپایی اجرا شده است. در مقابل در طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۵ تعداد در اروپا تعداد ۱۵ طرح با ظرفیت کلی ۲۰۰،۰۰۰ تن در سال وجود داشت. بیش از ۷۰ طرح هاضم بی هوازی جهت تصفیه مواد زائد جامد شهری در یک دوره پنج ساله طی سال های ۲۰۱۰-۲۰۰۶ در اروپا ساخته و بهره برداری شد. در طی سال های ۱۹۹۵-۱۹۹۱، سالانه مقدار ۳۸۸۰۰ تن به ظرفیت طرح های هضم بی هوازی مواد زائد جامد اضافه شد. در طی سال های ۲۰۰۰-۱۹۹۶ این رقم به ۲۲۳،۵۰۰ تن در سال افزایش پیدا کرد. ظرفیت طرح های اجرا شده هضم بی هوازی مواد زائد جامد در طی سال های ۲۰۰۵-۲۰۰۱ به شدت افزایش داشت و رقم آن برابر ۴۱۵،۵۹۰ تن در سال بود. در طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۶ ظرفیت سالانه طرح های اجرا شده هاضم بی هوازی جهت هضم مواد زائد جامد شهری در اروپا برابر ۴۴۹،۲۹۰ تن در سال بود که این مقدار مربوط به ۲۱ طرح بود.

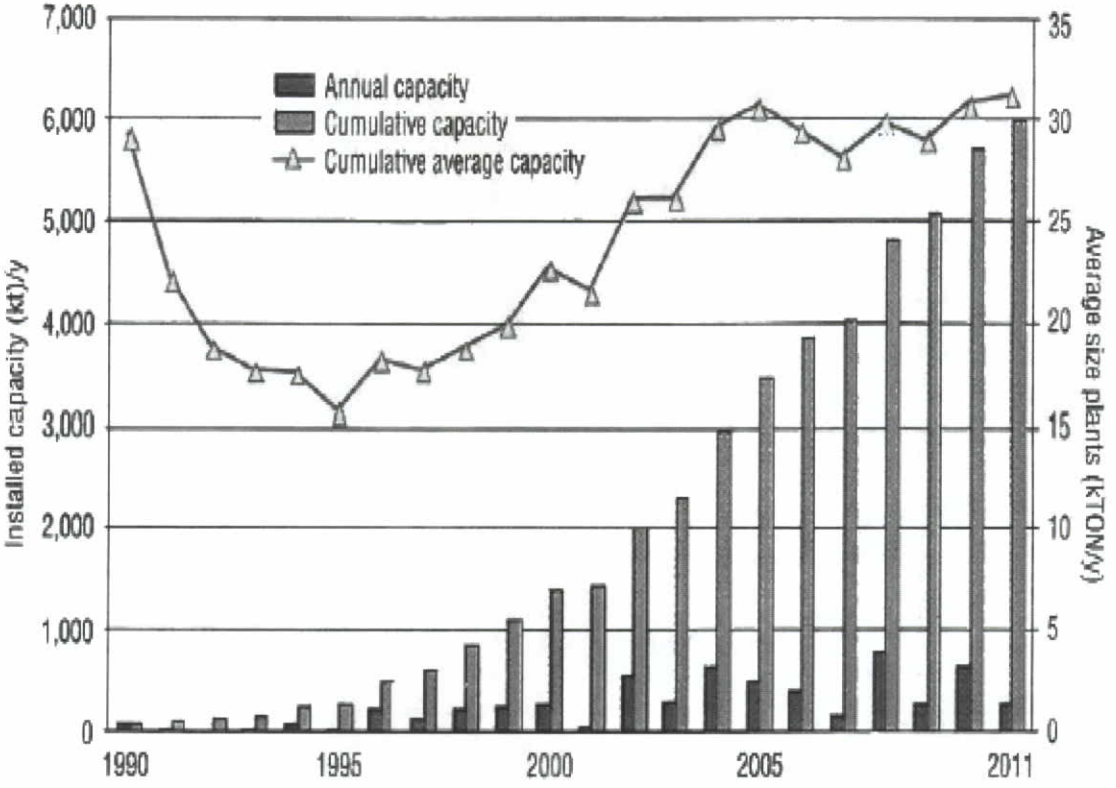
ظرفیت متوسط طرح های اجرا شده در دوره پنج ساله بین سال های ۱۹۹۵-۱۹۹۱ برابر ۱۳،۰۰۰ تن در سال بود که این رقم در طی سال های ۲۰۰۵-۲۰۰۱ به ۴۰،۰۰۰ تن در سال

افزایش پیدا کرد. در دوره پنج ساله آخر (۲۰۱۰-۲۰۰۶) ظرفیت متوسط طرح های اجرا شده هاضم بی هوازی در اروپا به رقم ۳۰،۰۰۰ تن در سال کاهش پیدا کرد (جدول ۵).

احتمالا از آنجاییکه تکنولوژی هضم بی هوازی در اوایل دهه ۹۰ هنوز ابتدایی بود و تکامل نیافته بود، این طرح ها جهت تصفیه پسماندهای خانگی تفکیک شده از مبدأ بکار می رفت و لذا طرح هایی با ظرفیت کمتر ساخته می شدند. ولی در طی ۵ ساله اول قرن ۲۱ طرح های هضم بی هوازی جهت تصفیه پسماندهای مخلوط و تفکیک نشده از مبدأ ساخته می شد که منجر به افزایش ظرفیت این طرح ها گشت. ولی از سال ۲۰۰۵ به بعد دوباره طرح های هضم بی هوازی جهت تصفیه پسماندهای تفکیک شده از مبدأ بکار گرفته شدند که علاوه بر موفقیت بیشتر کاهش ظرفیت این طرح ها را در پی داشت.

در شکل (۵) سیر تکاملی طرح های هضم بی هوازی مواد زائد جامد شهری در اروپا نشان داده شده است.

در کشورهایی مانند اسپانیا، فرانسه و انگلستان، که طرح های جداسازی پسماندهای خانگی از مبدأ نسبت به دیگر کشورهای اروپایی نسبتا ضعیف تر است، تعداد زیادی طرح هضم بی‌هوازی مواد زائد جامد شهری با مقیاس بزرگ (۱۰۰،۰۰۰ تا ۲۰۰،۰۰۰ تن بر سال) ساخته شده و یا در دست طراحی و ساخت می باشد. کشورهای مانند سوئیس، اتریش، سوئد و نروژ به ساخت هاضم های بی هوازی با ظرفیت کم (۸،۰۰۰ تا ۱۵،۰۰۰تن در سال) تمایل دارند. در حالیکه در کشورهایی مانند آلمان، بلژیک و ایتالیا طرح هایی با ظرفیت متوسط (۳۰،۰۰۰ تا ۵۰،۰۰۰ تن بر سال) ساخته می شود. کشور آلمان در زمینه هضم بی هوازی هم در زمینه تکنولوژی و هم در زمینه تعداد طرح های نصب شده پیشتاز است. تعداد زیادی از این هاضم های بی هوازی در کشور آلمان اجرا شده است. در انتهای سال ۲۰۱۰ ظرفیت کلی طرح های اجرا شده جهت هضم بی هوازی مواد زائد جامد شهری برابر ۱/۷ میلیون تن در سال بود. تعداد طرح های اجراشده در آلمان برابر ۷۵ طرح با ظرفیت متوسط ۲۳،۰۰۰ تن در سال بود. پس از آلمان کشور



شکل (۵): سیر تکاملی طرح های هضم بی هوازی مواد زائد جامد شهری در اروپا

جدول (۵): اطلاعات آماری طرح های اجرا هضم بی هوازی مواد زائد جامد شهری در اروپا (۵۳)

دوره ۵ ساله	۱۹۹۱-۱۹۹۵	۱۹۹۶-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۲۰۰۵	۲۰۰۶-۲۱۰
تعداد طرح های اجرا شده در کل دوره	۱۵	۴۴	۵۲	۷۳
متوسط تعداد طرح های اجرا شده در سال	۳	۸/۸	۱۰/۴	۱۴/۶
ظرفیت نصب شده در طی دوره (تن)	۱۹۴،۰۰۰	۱،۱۱۷،۵۰۰	۲،۰۷۷،۹۵۰	۲،۲۴۶،۴۵۰
ظرفیت متوسط سالانه نصب شده (تن در سال)	۳۸،۸۰۰	۲۲۳،۵۰۰	۴۱۵،۵۹۰	۴۴۹،۲۹۰
ظرفیت متوسط طرح ها بر حسب تن	۱۲،۹۳۳	۲۵،۳۹۸	۳۹،۹۶۱	۳۰،۷۳۳

اسپانیا در انتهای سال ۲۰۱۰ با ظرفیت مجموع حدود ۱/۵ میلیون تن در سال در رتبه دوم و کشور فرانسه با ظرفیت مجموع ۸۰۰،۰۰۰ تن در سال در رتبه سوم قرار داشته است (جدول ۶). اما از نظر سرانه هضم بی هوازی کشور آلمان در رتبه ششم و فرانسه در رتبه هشتم در میان کشورهای اروپایی قرار دارند. از این نظر رتبه اول و دوم به کشورهایی مالت و لوکزامبورگ که کشورهایی کوچک و با جمعیتی کم هستند تعلق دارد (جدول ۷). تعداد طرح های اجرا شده در این کشورها یک یا دو عدد می باشد. از نظر سرانه هضم بی هوازی کشور مالت در انتهای سال ۲۰۱۰ با سرانه حدود ۴۵،۰۰۰ تن در سال ظرفیت نصب شده به ازای ۰/۴ میلیون نفر (۱۱۲،۵۰۰ تن به ازای هر میلیون نفر) رتبه اول را در جهان دارد. پس از آن کشور لوکزامبورگ با سرانه ۷۶،۰۰۰ تن ظرفیت نصب شده به ازای هر میلیون نفر در رتبه دوم و کشور اسپانیا با سرانه ۳۴۰۰۰تن به ازای هر میلیون نفر در رتبه سوم و کشور سوئیس با سرانه ۳۳،۰۰۰ تن به ازای هر میلیون نفر در جایگاه چهارم و هلند با سرانه هضم بی هوازی ۲۹،۰۰۰ تن مواد زائد جامد شهری در سال در رتبه پنجم قرار دارد.. با فرض تولید ۳۰۰ کیلوگرم مواد زائد جامد قابل هضم به ازای هر نفر در سال در همه کشورها، جهان سالانه پتانسیل هضم بی هوازی ۳۰۰،۰۰۰ تن در سال به ازای هر میلیون نفر را دارد. این بدین معناست که کشور مالت ۳۷/۵ درصد، کشور لوکزامبورگ ۲۵/۵۳ درصد، اسپانیا ۹/۷۳ درصد و سوئیس ۹/۷۳ درصد کل مواد زائد جامد قابل تجزیه بیولوژیکی خود را از طریق هضم بی هوازی تصفیه می کنند. در حالیکه دردیگر کشورهای اروپایی ۶/۹- ۰/۲ درصد کل مواد زائد جامد شهری قابل تجزیه بیولوژیکی از طریق هضم بی هوازی تصفیه می شود.در اروپا سالانه حدود ۳۰۰ میلیون تن مواد زائد جامد شهری تولید می شود که حدود ۱۸۰ میلیون تن آن از نوع مواد آلی است. در سال ۲۰۱۰ ظرفیت نصب شده طرح های هضم بی هوازی جهت مواد زائد جامد شهری برابر ۵ میلیون تن در سال بود که

جدول (۶): رتبه بندی کشورهای اروپایی از نظر ظرفیت نصب شده تا سال ۲۰۱۰

رتبه	کشور	مجموع ظرفیت نصب شده (میلیون تن در سال)	جمعیت تقریبی (میلیون نفر)
۱	آلمان	۱/۷	۸۲
۲	اسپانیا	۱/۵	۴۳
۳	فرانسه	۰/۸	۶۵

جدول (۷): رتبه بندی کشورهای اروپایی از نظر سرانه استفاده از تکنولوژی هضم بی هوازی جهت تصفیه مواد زائد جامد شهری تا پایان سال ۲۰۱۰

رتبه	کشور	سرانه استفاده از هضم بی هوازی (تن به ازای میلیون نفر)	جمعیت تقریبی (میلیون نفر)
۱	مالت	۱۱۲/۵۰۰	۰/۴
۲	لوکزامبورگ	۷۶/۰۰۰	۰/۵
۳	اسپانیا	۳۴/۰۰۰	۴۳

این موضوع بدان معناست در اروپا ۳ درصد کل مواد زائد جامد آلی از طریق هضم بی هوازی تصفیه می گردد. در اروپا ۱۵ درصد مواد زائد جامد آلی شهری به طریق بیولوژیکی تصفیه می شود که سهم تکنولوژی بی هوازی ۲۰ درصد کل روش‌های تصفیه بیولوژیکی است.

با توجه به مطالب ذکر شده و نزدیک بودن جمعیت کشورهای آلمان، اسپانیا و فرانسه به جمعیت ایران و همچنین ظرفیت بالای طرح های اجرا شده در این کشورها بخصوص اسپانیا و فرانسه، این سه کشور را می‌توان به عنوان الگویی مناسب در زمینه هضم بی هوازی مواد زائد جامد شهری در نظر گرفت.

۴-۱- وضعیت کاربرد تکنولوژی های مختلف هضم بی هوازی جهت مواد زائد جامد شهری در اروپا

۴-۱-۱- کاربرد هاضم های ترموفیلیک در مقایسه با هاضم‌های مزوفیلیک

در شکل(۲) سیر تکامل استفاده از سیستم های هضم بی هوازی جهت تصفیه مواد زائد جامد شهری در محدوده دمایی ترموفیلیک در مقابل محدوده دمایی مزوفیلیک در بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ نشان داده شده است. در ابتدا تقریبا همه سیستم های هضم بی هوازی در محدوده دمایی مزوفیلیک بهره برداری می شدند، زیرا فرایند مزوفیلیک به عنوان فرایندی با ثبات تر شاخته شده بود و به گرمایش کمتری نیاز داشت. استفاده از هاضم های بی هوازی ترموفیلیک از سال ۱۹۹۰ آغاز شد و در طی دو دهه گذشته ظرفیت استفاده از هردو تکنولوژی ترموفیلیک و مزوفیلیک افزایش یافته است، اما برتری با طرح های مزوفیلیک می باشد.

در طی سال های ۲۰۰۵-۲۰۰۰ یک تعداد سیستم هاضم بی‌هوازی تر از نوع ترموفیلیک در مقیاس بزرگ ساخته شد، اما بعد از آن استفاده از طرح های ترموفیلیک به طور چشمگیری کاهش یافت (جدول ۸).

۴-۱-۲- کاربرد هاضم های تر در مقایسه با هاضم های خشک

همانطور که ذکر گردید، قبل از اینکه از تکنولوژی هضم بی‌هوازی جهت تصفیه مواد زائد جامد شهری استفاده شود، راکتورهای تک مرحله ای تر برای تصفیه لجن حاصل از تصفیه فاضلاب، فاضلاب های کشاورزی و صنعتی بطور گسترده ای بکار می رفتند.پس از اینکه استفاده از هضم بی هوازی جهت تصفیه پسماندهای شهری رواج یافت، استفاده از راکتورهای تر یک مرحله ای بدین منظور رواج پیدا کرد. اما دوغاب حاصل از مواد زائد جامد شهری به علت طبیعت ناهمگن خود، ویژگی متفاوتی با فاضلاب ها و لجن حاصل از تصفیه فاضلاب دارد و تصفیه آن در راکتورهای تک مرحله ای تر باعث پیدایش مشکلاتی نظیر تشکیل لایه شناور ناشی از مواد سبک و ته نشین شدن مواد سنگین می شود. لذا برای حل این معضلات بایستی سیستم پیش تصفیه مناسبی در نظر گرفته شود که می تواند باعث بالا رفتن هزینه های سرمایه گذاری شود. از سوی دیگر، مواد زائد جامد شهری حاوی مقادیر بیشتری از مواد سمی و ممانعت کننده هستند و با توجه به اینکه الگوی جریان در راکتورهای تک مرحله ای تر از نوع اختلاط کامل است ، این مواد سمی می توانند به سرعت پخش شده و به همه نقاط هاضم سرایت کنند. در غلظت های بالای مواد سمی ممانعت کننده، این امر می‌تواند باعث وارد شدن شوک به میکروارگانیسم ها شود. در حالیکه در راکتورهای خشک به

جدول (۸): مقایسه میان طرح های اجرا شده هضم بی هوازی مزوفیلیک و ترموفیلیک جهت تصفیه مواد زائد جامد شهری در اروپا

دوره ۵ ساله	۱۹۹۱-۱۹۹۵	۱۹۹۶-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۲۰۰۵	۲۰۰۶-۲۱۰
ظرفیت طرح های مزوفیلیک اجرا شده بر حسب تن در طی دوره ۵ ساله	۱۲۳،۵۰۰	۷۱۷،۵۰۰	۱،۶۵۵،۹۵۰	۱،۴۱۸،۷۰۰
ظرفیت طرح های ترموفیلیک اجرا شده بر حسب تن در طی دوره ۵ ساله	۷۰،۵۰۰	۴۰۰،۰۰۰	۴۲۲،۰۰۰	۸۲۷،۷۵۰
درصد طرح های مزوفیلیک	۶۴	۶۴	۸۰	۶۳
درصد طرح های ترموفیلیک	۳۶	۳۶	۲۰	۳۷

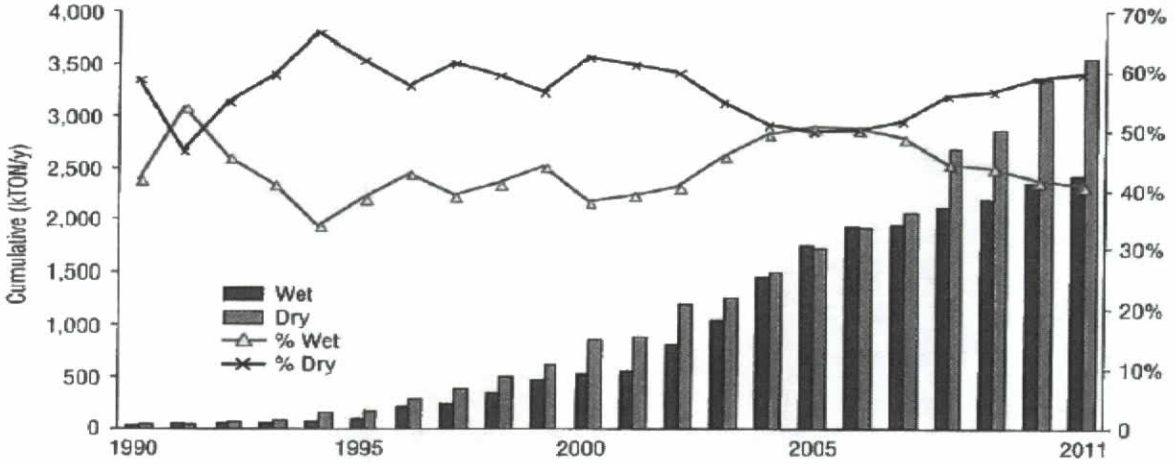
میکروارگانیسم ها شود. در حالیکه در راکتورهای خشک به علت اینکه الگوی جریان از نوع نهرگونه است، مواد سمی در صورت وجود در ناحیه خاصی محدودی شده و به همه نقاط هاضم سرایت نمی کند. لذا این امر می تواند از میکروارگانیزمها در مقابل مواد سمی محافظت کند. مجموع این دلایل باعث غالب شدن استفاده از راکتورهای خشک برای تصفیه پسماندهای جامد شهری شده است. همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده است، جهت تصفیه مواد زائد جامد شهری در اکثر مواقع به استثنا دوره بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۶ استفاده از هاضم های خشک، متداول تر از هاضم های تر بوده است. در طی ۵ سال گذشته، ۶۳ درصد ظرفیت هاضم های بی هوازی نصب شده از نوع سیستم‌های خشک بوده و در حال حاضر تقریباً ۶۰ درصد کل سیستم‌های هضم بی هوازی از نوع خشک بوده و ۴۰ درصد باقیمانده از نوع تر می باشند. نرخ رشد تقریبا ثابت استفاده از سیستم‌های خشک، به دلیل تولید کم فاضلاب در این سیستم‌ها و همچنین پیشرفت سیستم های خشک در سال‌های اخیر می‌باشد.

۴-۱-۳- کاربرد هاضم های تک مرحله ای در مقایسه با هاضم‌های دو مرحله ای

معمولاً مزایای استفاده از سیستم های دو مرحله ای برای تصفیه مواد زاند جامد شهری به اندازه ای نیست که هزینه های بالای احداث این سیستم ها را جبران کند. از سوی دیگر سیستم های خشک تک مرحله ای در حال پیشرفت و رسیدن به سرعت های هضم بالاتر می باشند. در اروپا میزان استفاده از سیستم های دومرحله ای، از میزان ۴۰-۳۰ درصد در سال ۱۹۹۰ به کمتر از ۸ درصد در انتهای سال ۲۰۱۰ کاهش پیدا کرد. در مدت ۵ سال بین ۲۰۱۰-۲۰۰۵، فقط ۵ درصد ظرفیت نصب شده جهت هضم بی هوازی مواد زائد جامد شهری در اروپا از نوع دومرحله ای بوده اند.

۴-۱-۴- هاضم های با یک نوع خوراک ورودی در مقایسه با هضم هم زمان

بسیاری از هاضم های بی هوازی در اروپا در مقیاس مزرعه ای هم زمان فضولات حیوانی را با پسماندها و ضایعات کشاورزی یا پسماندهای صنعتی آلی هضم می کنند. اما در هضم بی هوازی مواد زائد جامد شهری چنین روشی معمول نیست. در انتهای سال ۲۰۱۰، فقط در ۸ درصد طرح های هضم بی هوازی، پسماندهای خانگی همراه با دیگر پسماندها تصفیه شده اند. در مواردی دیگری هم که خوراک ورودی دیگری همراه پسماندهای خانگی وارد هاضم شده است. مقدار آن بسیار کم بوده است.



شکل (۶): وضعیت کاربرد تکنولوژی های هضم خشک و تر جهت تصفیه مواد زائد جامد شهری در اروپا

۴-۱-۵- هضم بی هوازی پسماندهای شهری مخلوط در مقایسه با پسماندهای شهری تفکیک شده در مبدأ

در ابتدای دهه ۹۰ طرح های جداسازی پسماند در مبدأ، به ندرت وجود داشتند. بنابراین اغلب طرح های هضم بی هوازی پسماند در آن دوره زمانی، جهت تصفیه پسماندهای تفکیک نشده ساخته می شدند. زمانی که جداسازی در مبدأ در اروپا عمومیت یافت، هاضم بی هوازی جدید جهت تصفیه پسماندهای بیولوژیکی تفکیک شده در مبدأ طراحی شدند. در نتیجه در اواخر دهه ۹۰ ظرفیت طرح های اجرا شده به سرعت کاهش یافت. با این وجود هنوز در نواحی زیادی از اروپا، طرح‌های تفکیک پسماند متداول نشده بود. لذا در آن زمان کشورهایی مانند اسپانیا و فرانسه که علاقمند به استفاده از هاضم های بی هوازی جهت تصفیه پسماندهای خانگی شده بودند، طراحی و ساخت هاضم هایی با ظرفیت زیاد را جهت تصفیه پسماندهای شهری مخلوط و تفکیک نشده، شروع کردند. تا انتهای سال ۲۰۱۰ میزان هاضم هایی که خوراک ورودی به آنها پسماندهای شهری تفکیک شده بود با هاضم‌هایی که خوراک ورودی به آنها پسماندهای خانگی تفکیک نشده و مخلوط بود، تقریبا برابر بوده است.

۵-نتیجه گیری

از آنجاییکه بخش زیادی از پسماندهای جامد شهری تولید شده در کشور از نوع پسماندهای فساد پذیر هستند، یکی از روش‌های مناسب جهت تصفیه آنها استفاده از روش هضم بی هوازی است. لذا جهت کاربرد مناسب این روش بایستی از تجربیات کشورهای پیشرو در این زمینه استفاده گردد. از اینرو بررسی آماری ظرفیت های نصب شده و نوع تکنولوژی های استفاده شده در کشورهای پیشتاز در استفاده از تکنولوژی‌های هضم بی هوازی می تواند به کاربرد مناسب این روش تصفیه در کشور کمک شایانی نماید. با توجه به مطالب فوق نگارنده این مقاله بر این باور است که علیرغم اینکه کشور آلمان کشور پیشتاز در زمینه هضم بی‌هوازی مواد زائد جامد شهری در اروپا و جهان است اما کشورهای فرانسه و اسپانیا، برای وضعیت فعلی مدیریت پسماند در کشور، الگوهای مناسب‌تری می‌باشند. زیرا علاوه بر نزدیکی جمعیت این دو کشور به جمعیت ایران، برنامه های تفکیک پسماند در این کشورها جندان مطرح نیست. لذا این امر باعث شباهت بیشتر پسماندهای تولید شده در این دو کشور، هم از لحاظ کیفی و هم از لحاظ کمی، به پسماندهای جامد شهری تولیدی در ایران شده است.

مراجع

[1] Beck, R.W., 2004. Final report: Anaerobic digestion feasibility study for the Bluestem Solid Waste Agency and Iowa Department of Natural Resources., in Final Report: Anaerobic Digestion Feasibility Study for the Bluestem Solid Waste Agency and Iowa Department of Natural Resources. Bluestem Solid Waste Agency.

[2] De Baere, L and Mattheeuws, B. 2010." Anaerobic Digestion Of MSW In Europe". BioCycle February 2010, Vol. 51, No. 2, p. 24

[3] Hahn, H, Hoffstede, U.2010." Assessment report on operational experience". From www.biogasmax.eu

[4] Hansen,Z and Hunter,J. (2009).final report: "Source Separted Organic Material Anaerobic Digestion Feasibility Study". Ramsey/ Washington County Resourse Recovery Project.

[5] Joshua Rapport et al.,2008. Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste, Department of Biological and Agricultural Engineering University of California

[6] Mahony, T., V. O'Flaherty, et al. (2002). Feasibility Study for Centralised Anaerobic Digestion for the Treatment of Various Wastes and Wastewaters in Sensitive Catchment Areas. Ireland, Environmental Protection Agency.

[7] Nichols, C. E. (2004). "Overview of Anaerobic Digestion Technologies in Europe." Biocycle 45(1): 47-54

بیوگرافی

آقای علیرضا شکوه دارای مدرک کارشناسی ارشد عمران-محیط زیست از دانشگاه صنعتی امیر کبیر می باشد. رساله کارشناسی ارشد ایشان در زمینه تصفیه پذیری بی هوازی شیرابه حاصل از محل دفن زباله شهری می باشد. ایشان دارای حدود ۵ سال سابقه کار در زمینه طراحی و اجرای تصفیه خانه های فاضلاب شهری و صنعتی می باشند که یک سال آن در قدس نیرو است.

Email:shokooh5071@yahoo.com

طراحی بهینه ژنراتور القایی با تغذیه دوگانه (DFIG)

فرید خزائلی مقدم

کارشناس برق(قدرت) - SBU شبکه

کلمات کلیدی: ژنراتور القایی با تغذیه دوبل- طراحی بهینه- تابع هدف بازدهی ماکزیمم- روش *FRM*- کاهش زمان و هزینه انجام محاسبات.

چکیده

کاربرد ژنراتورهای القایی با قابلیت تطبیق سرعت، بویژه ژنراتورهای القایی با تغذیه دوبل(*DFIG*) بخاطر مزایای مختلفی که نسبت به سیستم های سرعت ثابت ارائه می دهند بسیار متداول و فراگیر شده است. یک *DFIG* در یک توربین بادی، قابلیت کنترل توان اکتیو و راکتیو و ارائه بیشینه مقدار از توان اکتیو را از طریق امکان تغییر سرعت چرخش روتور خود بواسطه استفاده از مبدل الکترونیک قدرت (بکارگیری یک مبدل *back to back*) ارائه می دهد. از طرف دیگر با توجه به پایین تر بودن نرخ توان انتقالی از روتور و ازآنجایی که مبدل روی سیم پیچ های روتور قرار می گیرد ریتینگ آن پایین آمده و استفاده از مبدل در این نوع از ژنراتور القایی نسبت به دیگر ژنراتورها هزینه کمتری را به سیستم اعمال می کند. *DFIG* روز به روز مورد توجه بیشتری برای استفاده در مزارع بادی قرار می‌گیرد. روش طراحی و تحلیل سنتی *DFIG* مبتنی بر استفاده از توده پارامترها و بکارگیری روش *FEM* است. اگرچه شرایط استفاده از روش *FEM* به خوبی مهیا است ولی زمان زیاد انجام محاسبات و هزینه زیاد انجام این محاسبات، استفاده از آن را بعنوان یک روش طراحی بهینه محدود می کند. در این مقاله با بهره گیری از روش *FRM* طرح بهینه‌ای از *DFIG* را ارائه می‌گردد. به کمک این روش میزان قابل ملاحظه ای هزینه انجام محاسبات کاهش می‌یابد درحالی که دقت انجام محاسبات ثابت باقی می ماند. تابع هدف بازدهی ماکزیمم، مورد نظر قرار گرفته و برای رسیدن به طراحی بهینه از نظر میزان بازدهی، فرایند محاسبه چگالی شار و تلفات هسته تشریح می‌شود. در نهایت طرحی بهینه را از *DFIG* براساس دریافت بیشینه توان الکتریکی درظرف یک دوره یکساله در یک مزرعه بادی‌بامشخصات‌سرعت‌بادمفروض‌ارائه‌می‌گردد.

۱-مقدمه

تقریبا تمام توربین های بادی امروزی از ژنراتورهای القایی استفاده می کنند. بر اساس توپولوژی الکتریکی، استفاده از ژنراتورهای القایی در توربین بادی، به یکی از اشکال زیر می‌باشد:

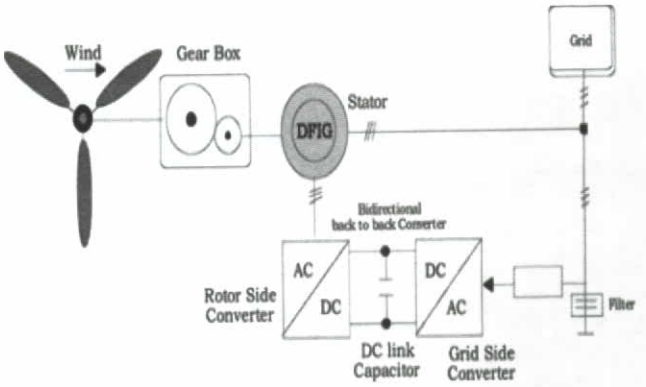
- ژنراتورهای‌القایی قفسه سنجابی با کوپل مستقیم(SCIG).
- ژنراتورهای‌القایی‌قفسه‌سنجابی‌باکنترل استاتور(SCSCIG).
- ژنراتورهای القایی تغذیه دوگانه با کنترل روتور(DFIG).
- ژنراتورهای القایی بدون جاروبک قفسه سنجابی تغذیه دوگانه با کنترل استاتور(DFM)

بیش از ۷۰٪ نیروگاه‌های بادی توان بالای امروزی از ژنراتور القایی با تغذیه دوبل با اعمال کنترل روی روتور (DFIG) استفاده شده است.

انتظاری که از یک سیستم تبدیل انرژی باد (WECS) می‌رود فراهم آوردن یک ولتاژ خروجی مشخص با فرکانس ثابت از یک سیستم سرعت متغیر است. چنین سیستمی به سیستم سرعت متغیر و فرکانس ثابت(VSCF) معروف است. علت متغیر بودن سرعت، دریافت بیشترین سطح از توان و بهره وری از سیستم طراحی شده در شرایط مختلفی از سرعت باد است. ژنراتورDFIG میتواند توان الکتریکی را تحت ولتاژ و فرکانس ثابت در سرعت های مختلف از چرخش روتور(ωr) ارائه دهد.

این ژنراتور با طراحی متناسب سیستم کنترلی، انعطاف زیادی را در تبدیل توان به ارمغان می آورد و در اتصال مجموعه به

شبکه، کمتر با مشکلات پایداری ولتاژ و فرکانس روبرو خواهیم بود.DFIG از روتوز سیم پیچی شده ساخته شده است. سیم پیچ استاتور مستقیما به شبکه سه فاز و بار سه فاز متصل گردیده است و سیم پیچ روتور از طریق یک مبدل BACK TO BACK و سایر متعلقات به شبکه متصل شده است. چگونگی اتصال این ژنراتور به شبکه در شکل۱ نشان داده شده است.



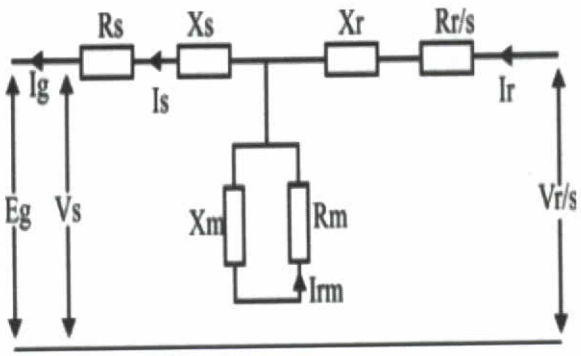
شکل(۱): سیستم توربین باد DFIG

از آنجایی که در این نوع ژنراتور القایی، مبدل بین روتور و شبکه متصل می شود لذا تنها لازم است که توان لغزش را تحمل کند که حدود ۳۰٪ توان نامی است و بنابراین هزینه ساخت مبدل بسیار پایین می آید. ژنراتور DFIG توانایی عملکرد در سرعت های زیرسنکرون و فوق سنکرون را دارد که توسط مبدل موجود در ساختار آن می توان بدین وسیله شار توان را در هر دو جهت در روتور کنترل کرد. چون تغییر جریان روتور در جریان استاتور منعکس می شود لذا با کنترل جریان روتور، توان های تولیدی اکتیو و راکتیو در استاتور، قابل کنترل هستند.

در این پروژه در ابتدا مدار معادل یک DFIG را ارائه می‌دهیم، سپس در مورد طراحی بهینه DFIG و روشهای بهینه سازی مورد استفاده در این زمینه به تفصیل بحث می کنیم. سپس به معرفی روش های FEM& FRM و ارائه الگوریتم بهینه سازی مورد استفاده در این روش ها می پردازیم. در ادامه طرح بهینه یک DFIG را با بکارگیری روش ترکیبی FEM و FRM ارائه می دهیم. برای انجام محاسبات بهینه سازی از نرم افزار MATLAB کمک می گیریم. در انتها ضمن ارائه خروجی های بدست آمده از طراحی با استفاده از روش ارائه شده (روش ترکیبی FEM و FRM)، به بررسی مزایایی که استفاده از این روش بهینه سازی برایمان بهمراه دارد می پردازیم و این روش را از دیدگاه اقتصادی نسبت به سایر روش ها، مورد ارزیابی و تحلیل قرار می دهیم.

۲-مدار معادل و نحوه مدل سازی DFIG

ازآنجایی که DFIG یک ماشین الکتریکی است می توان آن بصورت الکتریکی مطابق با مدار معادل ارائه شده در شکل۲ نمایش داد.



شکل(۲): مدار معادل DFIG

این مدار معادل، شامل تلفات مغناطیس کنندگی و قابل استفاده برای یک ژنراتور سه فاز با اتصال ستاره(Y) در شرایط کاری ماندگار سیستم است. در مورد اتصال مثلث(Δ) برای DFIG می توان کماکان از این مدار معادل استفاده کرد.

با اعمال قانون KVL درمدار شبکه شکل۲ و کمک روابط $Xs= j\omega_1 L_{s\lambda}$ $Xr= j\omega_1 L_{r\lambda}$ ، به معادلات زیر می‌رسیم:

$$V_s = R_s I_s + j\omega_1 L_{s\lambda} I_s + j\omega_1 L_m (I_s + I_r + I_{rm})$$

$$\frac{Vr}{s} = \frac{R_r}{s} I_r + j\omega_1 L_{r\lambda} I_r + j\omega_1 L_m (I_s + I_r + I_{rm})$$

$$0 = R_m I_{rm} + j\omega_1 L_m (I_s + I_r + I_{rm})$$

پارامترهای موجود در روابط فوق بصورت زیر تعریف می شوند:

Vs: ولتاژ استاتور ، Rs: مقاومت سیم پیچ استاتور ، Vr: ولتاژ روتور ، R_r: مقاومت سیم پیچ روتور ، Is:جریان سیم

پیچ استاتور، Ir:جریان سیم پیچ روتور ، R_m: مقاومت مغناطیس کنندگی ، I_{rm}: جریان مقاومت مغناطیس کنندگی ، $L_{s\lambda}$: اندوکتانس نشتی استاتور ، $L_{r\lambda}$: اندوکتانس نشتی روتور ، ω_1: فرکانس روتور ، L_m: اندوکتانس مغناطیس کنندگی ، S: لغزش.

لغزش بصورت زیر تعریف می شود:

$$S=\frac{\omega_1-\omega_r}{\omega_1}=\frac{\omega_2}{\omega_1}$$

که: ωr سرعت روتور و ω_2 فرکانس لغزش است.

شار های استاتور و روتور بصورت زیر تعریف می شوند:

$$\psi_m = L_m(I_s + I_r + I_{rm})$$

$$\psi_s = L_{s\lambda}I_s + L_m(I_s + I_r + I_{rm}) = L_{s\lambda}I_s + \psi_m$$

$$\psi_r = L_{r\lambda}I_r + L_m(I_s + I_r + I_{rm}) = L_{r\lambda}I_r + \psi_m$$

باجایگذاری این روابط در روابط پیشین ، می توان روابط پیشین را بصورت زیر نوشت:

$$V_s = R_s I_s + j\omega_1 \psi_s$$

$$\frac{Vr}{s} = \frac{R_r}{s} I_r + j\omega_1 \psi_r$$

$$0 = R_m I_{rm} + j\omega_1 \psi_m$$

با ارائه مقدمات فوق به سراغ مسئله اصلی در این پروژه یعنی طراحی بهینه DFIG می رویم.

۳-روال انجام طراحی بهینه در DFIG

۳-۱- معرفی روشهای طراحی بهینه DFIG و روش مورد استفاده در این مقاله و مزایا و معایب هریک

روش های سنتی طراحی DFIG مبتنی بر استفاده از الگوریتم انقلابی و استفاده از مدل بر پایه استفاده از توده پارامترها می باشد. این شیوه طراحی، به میزان زیادی وابسته به تجربه طراح است. اگرچه روشFEM در دسترس است اما زمان هزینه محاسباتی بالای آن، استفاده از آن را بعنوان روش طراحی بهینه ماشین محدود می کند زیراکه برای انجام محاسبات در این روش نیازمند استفاده از ابررایانه ها با پردازنده های قوی و انجام محاسبات بصورت موازی هستیم.

از این رو طراحان زیادی استفاده از روش FEM ترکیب شده با الگوریتم های بهینه سازی که نیازمند اعمال محاسباتی کمتری می باشند را در طراحی بهینه ماشین های الکتریکی پیشنهاد کرده‌اند. در مقالاتی استفاده از روشی برای محاسبه ساده‌تر FEM با انجام محاسبه موازی ازطریق اینترنت بجای استفاده از روش سنتی موازی کردن پردازنده های سخت افزارهای در کنار هم پیشنهاد شده است.

در این پروژه از روش احیای میدان(FRM) برای طراحی بهینه DFIG استفاده شده است. FRM بطور قابل ملاحظه‌ای زمان و هزینه محاسبات را کاهش می دهد و در مقایسه با FEM، سطح مناسبی از دقت محاسباتی را ارائه می دهد.

در روش ارائه شده، عملکرد ماشین مستقیما از طریق داده‌های میدان و نه توده پارامترهای حاصله از مدل تحلیلی ارزیابی می شود. همچنین در این روش مقدار بازدهی سیستم در طول یک بازه زمانی یکساله از عملکرد مجموعه بهینه می شود(به ازای توان های مکانیکی مختلف ورودی به توربین)، درحالی که روش های سنتی، بطور معمول بر بازدهی در توان نامی تمرکز دارند.

۳-۲- ارائه مدل FR از DFIG جهت طراحی بهینه با استفاده از این روش

- معرفی و ارائه روش FR برای DFIG و ارائه مدل FR از ماشین
- استخراج توابع مجهول موجود در مدل

۳-۲-۱- معرفی و ارائه روش FR برای DFIG و ارائه مدل FR از ماشین

همانطور که گفته شد FEM ابزاری رایج برای طراحی و تحلیل ماشین های الکتریکی است که تنها ایراد آن هرینه بالای انجام محاسبات در بهره گیری از این روش است. در شرایطی که نگرانی از بابت اشباع مغناطیسی نداریم، روش FR می تواند چگالی شار در مرکز فاصله هوایی را با دقت خوبی با بهره گیری از جمع اثرات دو مولفه میدان که از طریق محاسبات میدان از روشFEM حاصل می شوند بدست آورد. در این پروژه روشFR غیر از مرکز فاصله هوایی

بر کلیه نقاط ماشین اعمال شده است.ژنراتورهای نیروگاه های بادی که به شبکه متصل هستند برای جلوگیری از ایجاد مولفه های هارمونیکی نامطلوب نباید در وضعیت اشباع باشند. اگرچه FEM برای بدست آوردن توابع اولیه استفاده می شود دامنه تحریک استاتور و روتور در سطحی نگه داشته می شود که شرایط اشباع برای ماشین پیش نیاید. بنابراین توابع پایه ماشین کاملا نسبت به چگالی شار مغناطیسی خطی می باشند. با این فرض مولفه های شعاعی و مماسی چگالی شار درDFIG با استفاده از قائده جمع آثار بصورت زیر درخواهند آمد:

$$= B_{nsa} + B_{nsb} + B_{nsc} + B_{nra} + B_{nrb} + B_{nrc}$$
$$= B_{tsa} + B_{tsb} + B_{tsc} + B_{tra} + B_{trb} + B_{trc}.$$

پارامترهای روابط فوق بصورت زیر تعریف می شوند:

B_{nsa}, B_{nsb}, B_{nsc}, B_{nra}, B_{nrb}, B_{nrc} مولفه های شعاعی چگالی شار حاصله از جریان سه فاز استاتور و روتور هستند. B_{tsa}, B_{tsb}, B_{tsc}, B_{tra}, B_{trb}, Btrc مولفه های مماسی چگالی شار حاصله از جریان سه فاز استاتور و روتور می باشند.

B_{nas} و B_{tsa}بصورت زیر تعریف می شوند:

$$B_{nas} = I_{as} f_{ns}(r, \phi_{sm})$$
$$B_{tas} = I_{as} f_{ts}(r, \phi_{sm}).$$

که $f_{ns}(r, \phi sm)$ و $f_{ts}(r, \phi sm)$ توابع پایه بوده و تنها وابسته به پارامترهای هندسی DFIG هستند. شعاع r و زاویه ϕ_{sm} به موقعیت قطب استاتور نسبت به محور استاتور اشاره می کنند. به خاطر تقارن استاتور، مولفه های چگالی شار استاتور را می توان بصورت زیر نوشت:

$$= I_{as} f_{ns}(r, \varphi_{sm}) + I_{bs} f_{ns}(r, \varphi_{sm} - 120/P) + I_{cs} f_{ns}(r, \varphi_{sm} - 240/P)$$

$$= I_{as} f_{ts}(r, \varphi_{sm}) + I_{bs} f_{ts}(r, \varphi_{sm} - 120/P) + I_{cs} f_{ts}(r, \varphi_{sm} - 240/P)$$

که P تعداد زوج قطب ها می باشد. ازآنجاییکه ساختار روتور مشابه استاتور است مولفه های چگالی شار روتور بصورت زیل می‌باشند:

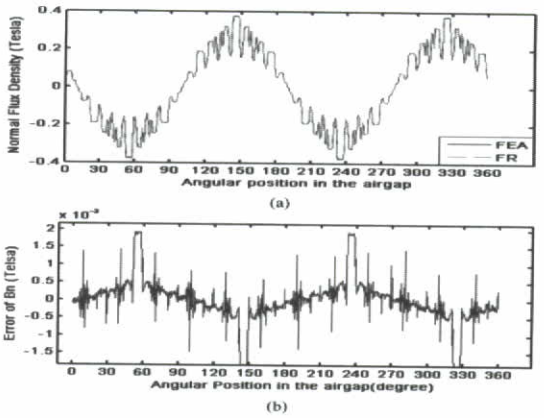
$$= I_{ar} f_{nr}(r, \varphi_{rm}) + I_{br} f_{nr}(r, \varphi_{rm} - 120/P) + I_{cr} f_{nr}(r, \varphi_{rm} - 240/P)$$
$$= I_{ar} f_{tr}(r, \varphi_{rm}) + I_{br} f_{tr}(r, \varphi_{rm} - 120/P) + I_{cr} f_{tr}(r, \varphi_{rm} - 240/P)$$

۳-۲-۲- استخراج توابع مجهول موجود در مدل:

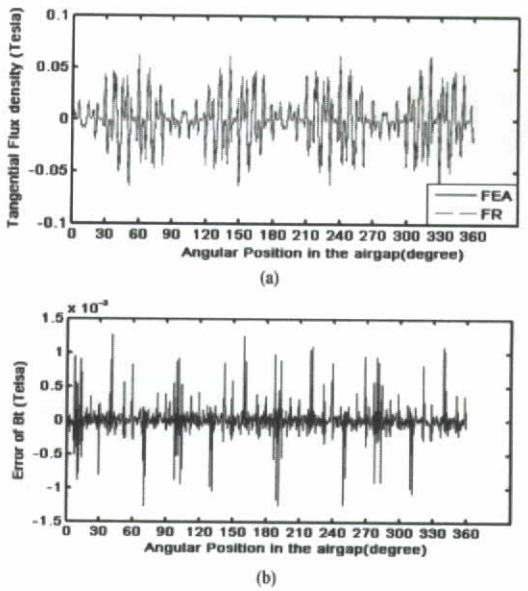
FEM استاتیک از مدل DFIG در بسته نرم افزاری ماکسول برای محاسبه توابع پایه $f_{ns}(r, \phi sm)$, $f_{ts}(r, \phi sm)$, $f_{nr}(r, \phi sm)$, $f_{tr}(r, \phi sm)$ بکار گرفته می شود. با قرار دادن Ias= 1A درحالیکه دیگر فازهای استاتور و روتور باز باشند توابع پایه $f_{ns}(r, \phi sm)$ و $f_{ts}(r, \phi sm)$ با اعمال یک FEM تنها به معادلات میدان بدست می آیند. بطور مشابه توابع پایه چگالی شار روتور محاسبه خواهند شد.یک DFIG سه فاز با ۴ قطب در این پروژه مورد مطالعه قرار گرفته است. پارامترهای ابتدایی در نظرگرفته شده در طراحی ماشین در جدول(۱) آورده شده است. اشکال ۳ و ۴ مولفه های شعاعی و مماسی چگالی شار را در وسط فاصله هوایی، محاسبه شده از روش های FR و FE به ازای جریان های تحریک 3A, -1.5A, -1.5A برای فازهای a, b, c استاتور بنمایش می گذارد. تحریک روتور نیز مشابه تحریک استاتور می باشد.

جدول(۱): پارامترهای DFIG

Machine parameters	Value
Rated power	5 Hp
Rated voltage	208 V
Synchronous speed	1800 rpm
Number of stator slot	36
Number of rotor slot	48
Coil material	Copper
Core material	M-19
Stack length	3.5 inches
Air gap length	0.5 inches
Stator outer diameter	9 inches
Rotor outer diameter	5.45 inches
Shaft diameter	1.551 inches



شکل(۳): چگالی شار شعاعی در نقطه میانی فاصله هوایی از دو روش FR و FE . (a)روش FR و روش FE (b) خطا میان محاسبه از دو روش



شکل(۴): چگالی شار شعاعی در نقطه میانی فاصله هوایی از دو روش FR و FE . (a)روش FR و روش FE (b) خطا میان محاسبه از دو روش

نتایج این کار نشان می دهند که بطور کلی روش FR ، بمیزان ۲ برابر سریعتر از روش FE می باشد و اثر قابل توجهی را در کاهش زمان و منابع محاسباتی خواهد داشت.

۴- محاسبه و ارزیابی بازدهی

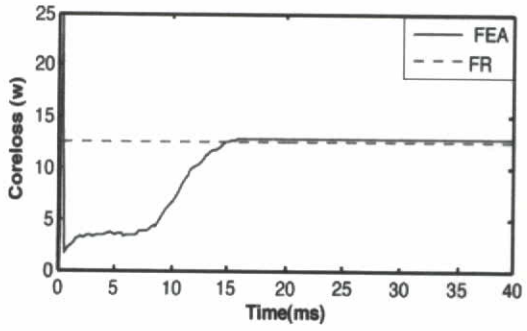
۴-۱- محاسبه تلفات

در این مقاله از روش FR برای محاسبه توزیع موضعی شار در روتور و ورقه های استاتور استفاده شده است. با داشتن توزیع شار در ورقه های ماشین، مدل سنتی محاسبه تلفات مواد فرومغناطیسی برای محاسبه تلفات هسته استفاده می شود. ازآنجاییکه مولفه های شعاعی و مماسی میدان مغناطیسی با استفاده از روش FR محاسبه شده است محاسبه توزیع تلفات هسته مستقیما از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$P_v = K_h f B_m^2 + K_c (f B_m)^2 + K_e (f B_m)^{1.5},$$

که در آن ضرایب K_h, K_c, K_e به ترتیب به تلفات هیسترزیس، جریان گردابی و تلفات اضافی مربوط می شوند که تنها وابسته به مشخصات ماده سازنده هسته و چگالی شار مغناطیسی B_m دارند.

ازآنجاکه تلفات هسته روتور درمقایسه با تلفات هسته استاتور قابل چشم پوشی است لذا در روش بهینه سازی ارائه شده از آن چشم پوشی می شود. همچنین بخاطر ساختار متقارن استاتور، تنها تلفات هسته فضای اشغال شده توسط یکی از دندانه های استاتور محاسبه شده و سپس تلفات کل هسته از طریق ضرب کردن تعداد دندانه های استاتور در تلفات دندانه حساب شده بدست خواهد آمد. شکل۵ تلفات هسته استاتور محاسبه شده از طریق روش های FE و FR را نمایش می دهد. خطای نهایی کمتر از 0.5% است. روش FE نیازمند محاسبه شکل موج چگالی شار در تمامی نقاط یک دوره زمانی کاری است و ازاین رو رفتار گذرای مشاهده شده در شکل۵ در استفاده از این روش در محاسبه تلفات رویت می شود.



شکل(۵): محاسبه تلفات هسته از دو روش FE و FR

تلفات مسی، از طریق مدل توده پارامترها ،حاصل شده از پاسخ میدان مغناطیسی، و مقاومت سیم پیچها محاسبه می‌شود.برای تعیین جریان روتور و استاتور، معادلات DFIG

در مرجع dq پیاده می شود و شار استاتور در راستای محور d درنظر گرفته می شود. فرض می شود که جریان مغناطیس‌کنندگی تنها از طریق استاتور تامین می شود.

۴-۲-محاسبه گشتاور

تانسور استرس ماکسول برای محاسبه توزیع چگالی نیرو در نقطه میانی فاصله هوایی و گشتاور روی روتور استفاده می‌شود. روابط حاصله بصورت زیر خواهند بود:

$$f_n = (B_n^2 - B_t^2)/2\mu_0$$
$$f_t = B_n B_t/\mu_0$$
$$T = \int_0^{2\pi} L_z R^2 f_t(\theta_{sm}) d\theta_{sm}$$

مقدار کل نیرو ناشی از مولفه شعاعی میدان در طول یک سیکل الکتریکی بصورت زیر درمی آید:

$$F_n = \int_0^{2\pi} f_n \, R \, d\phi_{sm}$$

B_n و B_t مولفه های شعاعی و مماسی چگالی شارند. L_z طول محفظه و R شعاع داخلی محفظه استاتور است. موقعیت مکانیکی روتور (θ_{sm}) بصورت زاویه میان محور مغناطیسی سیم پیچ فاز a و محور q تعریف می شود. زاویه ϕ_{sm} نیز بصورت موقعیت نقطه مفروض روی استاتور نسبت به شیار مربوط به فاز a استاتور می باشد. به طریق مشابه F_t نیز با انتگرالگیری از f_t روی مسیر بسته داخل فاصله هوایی بصورت زیر محاسبه می شود:

$$F_t = \oint_\Gamma f_t \, . \, dl$$

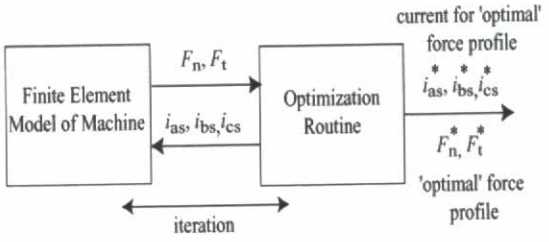
Γ مسیر بسته روی فاصله هوایی می باشد.

۵-ارائه الگوریتم بهینه سازی براساس روش پیشنهادی، برای DFIG

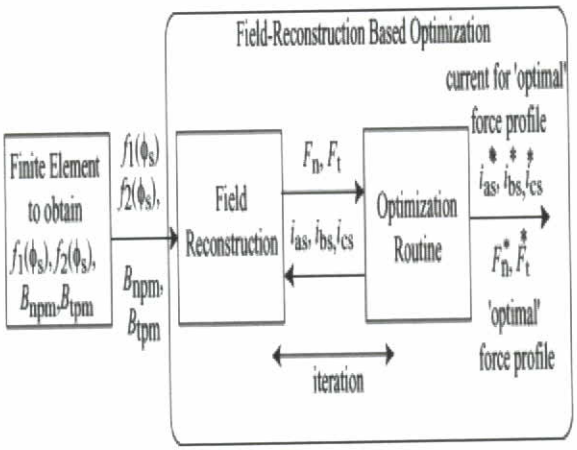
شیوه انجام محاسبات بهینه سازی در هریک از دو روش FEM و روش پیشنهادی که آمیخته های از روش های FE و FR است در دیاگرام های اشکال۶ و۷ نمایش داده شده است:

۵-۱- روال انجام بهینه سازی

با شروع از مقادیر اولیه ای که برای طراحی درنظر گرفته شده‌اند توابع پایه همانطور که گفته شد از دو جواب FE



شکل(۶): روال بهینه سازی مبتنی بر FE برای تعیین مقدار بهینه از تحریک سیم پیچ استاتور

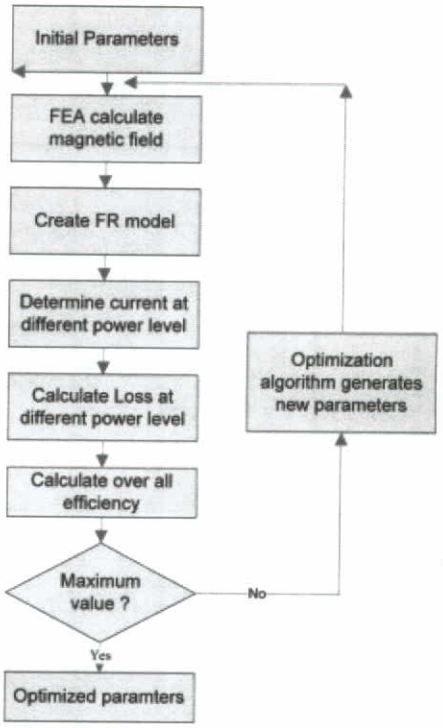


شکل(۷): انجام بهینه سازی با بکارگیری روش FR

استاتیک تعیین می شوند. با تشکیل مدل FR تلفات مطابق روالی که قبلا توضیح داده شد قابل محاسبه هستند.

متناسب با نیازهایی که از فرایند بهینه سازی در طراحی ماشین داریم تابع هدف و شرایط مرزی مختلفی برای تحقق اهداف و خواسته های طراح قابل تشکیل هستند. در این مقاله هدف اولیه، مینیمم کردن تلفات کل ماشین(افزایش بازدهی ماشین) در طول یک دوره یکساله است. بنابراین تابع هدف، مجموع تلفات در یک دوره زمانی یکساله است.برای حل مسئله بهینه سازی غیرخطی چندمتغیره، روش برنامه نویسی درجه دوم متوالی(SQP) که قسمتی از بسته تجاری Toolbax بهینه سازی MATLAB است استفاده شده است. از fmincon بعنوان solver در این بهینه سازی استفاده شده است. مدل FR ازطریق جواب های حاصل از FE در هر مرحله از طراحی، اصلاح می شود. تابع هدف مطابق با مدل اصلاح شده FR در هر مرحله از انجام فرایند

ارزیابی می شود. شکل۸ فرایند انجام بهینه سازی را بنمایش می گذارد.



شکل(۸): روال انجام فرایند بهینه سازی

۵-۲-ترکیب بسته تجاری Maxwell با MATLAB

بسته تجاری ماکسول، یک ابزار راحت برای تحلیل FE تجهیزات الکترومغناطیسی است. MATLAB یک ابزار قدرتمند جهت برنامه نویسی و انجام محاسبات است. با استفاده از دستورات ماکسول ترکیب ماکسول و MATLAB مورد استفاده قرار می گیرد. این امر اصلاح توابع پایه FR را در هر مرحله از محاسبات بهینه سازی و پارامترهای تازه شده ماشین ممکن می سازد.

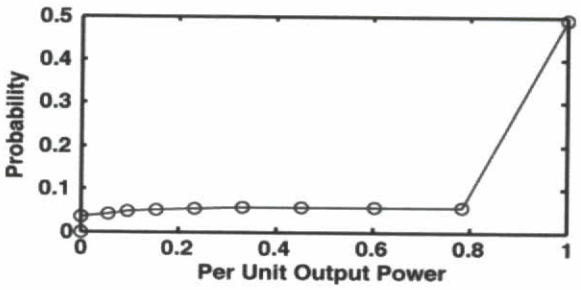
۶-طراحی بهینه DFIG برای حصول بازدهی ماکزیمم

۶-۱- بررسی و تحلیل توزیع سرعت باد و قدرت

یک ایراد انرژی باد این مسئله است که توان قابل دسترس از آن بمیزان زیادی وابسته به شرایط آب و هوایی است. بدلیل تغییر در سرعت وزش باد، افت و خیز زیادی در انرژی تولیدی از باد وجود دارد. برای دستیابی ساده به طرح بهینه در این مقاله، از توزیع ریلی(Rayleigh) باد استفاده می‌شود. این توزیع، یک تخمین قابل قبول را از سرعت باد ارائه می‌دهد. تابع چگالی احتمال سرعت باد بصورت زیر است:

$$f(v) = (\pi v/2u_a)\exp(-\pi v^2/4u_a^2)$$

که در آن v سرعت لحظه ای باد است و u_a سرعت متوسط باد است.با این وجود در ارائه یک طرح عملی و واقعی از ماشین بهتر است که اطلاعات واقعی از توزیع باد سایت مورد نظر جهت نصب سیستم باد در صورت امکان اخذ گردد. در شرایط عملکردی واقعی، بدلیل اعمال کنترل روی زاویه گام و محدودیت های توربین باد، توزیع توان خروجی توربین کاملا با مقادیر تابع چگالی احتمال فوق متفاوت است. وقتیکه توربین به سرعت نامی خود می رسد توان خروجی بگونه ای کنترل می شود که ثابت باقی بماند. با فرض اینکه مزرعه بادی دارای متوسط سرعت باد 13m/s است و توربین با همین سرعت نامی مورد استفاده قرار گرفته است، با ترکیب تابع توزیع سرعت باد با داده های نرمالیزه شده توان خروجی توربین، توزیع توان خروجی محاسبه شده و در شکل(۹) رسم شده است. در این پروژه، هدف بهینه سازی، مینیمم کردن تلفات انرژی سالیانه تحت چنین شرایطی از لحاظ توان مکانیکی ورودی می باشد.



شکل(۹): توزیع احتمال توان خروجی توربین برحسب p.u.

۶-۲-توابع هدف

بطورکلی طراحی بهینه از ماشین های الکتریکی با هدف بازدهی بیشینه در شرایط عملکردی نامی ماشین است. با این وجود بدلیل عدم اطمینان در سرعت باد، DFIG در اکثر مواقع در خارج از شرایط کاری نامی به سر می برد. ارزیابی

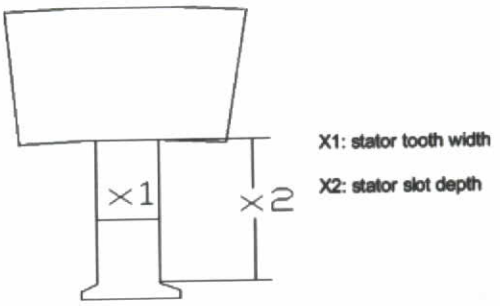
بازدهی آن طی یک دوره کاری کاری یکساله مناسب و ارزشمند است، لذا تابع هدف را بصورت زیر تعریف می کنیم:

$$\text{Annual Power Loss} = \int p_L(p).f(p)dp$$

در رابطه فوق PL(P) توان تلفاتی به ازای مقادیر مختلف توان ورودی است و $f(P)$ احتمال وقوع این مقدار از توان ورودی است.

۶-۳-طرح بهینه

مزرعه باد و توربین باد با سرعت نامی 13m/s درنظرگرفته شده است. که یک مزرعه باد با سرعت است. این فرض برای برای یک مزرعه بادی سرعت پایین قابل استفاده نیست. توان‌خروجی توربین، مشخصه واقعی خروجی از آزمایش تحت سرعت باد حاصله از توربین باد 13m/s است.پارامترهای طراحی همان طور که در شکل۱۰ نمایش داده شده اند، پهنای دندانه استاتور و عمق شیار استاتور درنظر گرفته شده اند. اگرچه در اینجا ما ۲ متغیر برای تعیین صحت روش بهینه سازی مورد استفاده بکار گرفتیم متغیرهای بیشتری را در صورت نیاز طراحی می توان تعریف نمود.



شکل(۱۰): نمایش متغیرهای طراحی

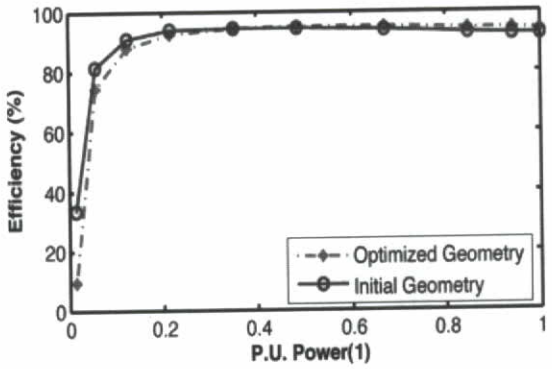
۶-۴-نتایج

نتایج طراحی بهینه در جدول ۲ آورده شده است. اگرچه بازدهی کلی سیستم، ۱،۱٪ بهبود یافته است اما مقدار کل تلفات ۱۷٪ کاهش پیدا کرده است.

جدول(۲): نتایج طراحی بهینه (منظور از بازدهی، مقدار کلی آن درطی کل دوره کاری است)

Model	x1(inch)	x2(inch)	Loss (w)	Efficiency
Initial Model	0.189	1	170	93%
Optimized model	0.279	0.9422	141	94.1%

مقدار بازدهی به ازای سطوح مختلف توانی، در شکل۱۱ نمایش داده شده است. مدل بهینه شده، بازدهی پایینتری را به ازای مقادیر پایین از توان و بازدهی بالاتر به ازای مقادیر بالای توان را نسبت به طرح اولیه ارائه می دهد. این امر توزیع احتمال توان نشان داده شده در شکل(۹) را مورد تایید قرار می دهد. مقدار بازدهی در نقطه ای که بیشترین مقدار انرژی از باد دریافت می شود بالاترین مقدار خود را خواهد داشت.



شکل(۱۱): مقدار بازدهی به ازای سطوح توانی مختلف

با یک پردازنده Intel با مشخصات 2.99GHz- Core 2 Duo ، تحلیل گذرای FE مقدار ۱۳۵ دقیقه برای محاسبه تلفات کل تنها به ازای یک مرتبه از تکرار روش زمان می برد درحالیکه در روش FR هزینه محاسبات تنها برای ۳ دقیقه خواهد بود در هر دو روش از گام های زمانی 0.1ms استفاده شده است. لذا مزیت هزینه و زمان محاسبات به نسبت ۴۵:۱ است. درکل روش پیشنهادی درحدود ۵ساعت با انجام ۱۰۰ تکرار بهینه سازی را به پایان می برد.

۷-نتیجه گیری

در این پروژه یک روش طراحی بهینهDFIG براساس FE و FR در جهت بیشینه کردن مقدار بازدهی در طی یک دوره زمانی یکساله ارائه شد. با بکارگیری روش پیشنهادی، طرحی بهینه از ماشین در کنار هزینه محاسباتی به نسبت پایین تر از روش های قبلی حاصل گشت. نتایجی که از این طرح بدست آمد مزیت کاربرد این روش را بخوبی نشان می دهد.

مراجع

[1] M. Tazil, W. Freitas, V. Kumar, R.C. Bansal, H.D. Mathur, ''Three-phase doubly fed induction generators'', Published in IET Electric

[2] Weidong Zhu, Babak Fahimi, and Steve Pekarek,''A Field Reconstruction Method for Optimal Excitation of Permanent Magnet Synchronous Machines'', IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 21, NO. 2, June 2006.

[3] Wei Wang, Morgan Kiani, and Babak Fahimi, ''Optimal Design of Doubly Fed Induction Generators Using Field Reconstruction Method'', IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 46, NO. 8, AUGUST 2010.

[4] V. Delli Colli, F. Marignetti, C. Attaianese, ''2-D Mechanical and Magnetic Analysis of a 10 MW Doubly Fed Induction Generator for Direct-Drive Wind Turbines '' ©2009 IEEE.

[5] Vincenzo Delli Colli, Member, IEEE, Fabrizio Marignetti, Senior Member, IEEE,and Ciro Attaianese, ''Analytical and Multiphysics Approach to the Optimal Design of a 10-MW DFIG for Direct-Drive Wind Turbines'', IEEE

TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 59, NO. 7, July 2012.

[6] Gary L. Johnson, ''WIND ENERGY SYSTEMS'', Manhattan, KS; October 10, 2006.

بیوگرافی

آقای فرید خزائلی مقدم فارغ التحصیل رشته کارشناسی برق با گرایش قدرت از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد گرایش الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی در دانشگاه صنعتی شریف هستند. ایشان دارای ۲ سال سابقه کار در زمینه تابلو و تاسیسات برقی و طراحی سیستم‌های حفاظتی می باشد.

Email:
fkhazaeli@ghods-niroo.com
farid_khazaeli@yahoo.com

کاربرد روش ژئوتوموگرافی لرزه ای در تعیین کیفیت سنگ ساختگاه سد رودبار لرستان

فروزان فرخ پور

کارشناس ارشد زمین شناسی -SBU آب و ابنیه

محمد رضا قیطانچی

عضو هیأت علمی- دانشگاه تهران

کلمات کلیدی: توموگرافی لرزه ای ، گسل ، سد رودبارلرستان، سرعت امواج لرزه ای

چکیده

توموگرافی لرزه ای ازکار آمدترین روش های ژئوفیزیکی در اکتشافات معدنی و بررسی کیفیت توده سنگ در ساختگاه سازه های زیر زمینی است. در این روش با اندازه گیری سرعت سیر امواج لرزه ای و رسم منحنی های هم سرعت که نشان دهنده نحوه توزیع سرعت امواج در حد فاصل فرستنده ها و گیرنده ها هستند توده های خاک و سنگ در فضای بین گالری ها، گمانه ها و سطح زمین مورد بررسی قرار میگیرد. از روش توموگرافی لرزه ای جهت تهیه مقاطع توزیع کمیتهای فیزیکی نظیر تخلخل ، خرد شدگی سنگ و جهت ترسیم نقشه های چینه شناسی و مشخص نمودن موقعیت ناهنجاریها استفاده میگردد. همچنین نوع و موقعیت ناهنجاریهای ناحیه مورد مطالعه از نظر وجود گسل ، حفره، توده چگال ، دایک ، عدسی و غیره قابل تشخیص خواهدبود. در این مقاله نیز سعی شده با کمک روش توموگرافی لرزه ای و براساس پارامتر سرعت انتشار امواج تراکمی (امواج P) ، سلامت توده سنگها از لحاظ پارامترهای تغییرات لیتولوژیکی، تعیین نواحی خردشده و زون‌بندی کیفیت سنگ در ساختگاه سد رودبار لرستان مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد.

۱-مقدمه

ژئوتوموگرافی در روشهای اکتشافی نوعی تصویر سازی و شبیه سازی مقاطع زمین است که با استفاده از گمانه یا گالری انجام میگردد . گستره توموگرافی لرزه ای از مقیاسهای بزرگ پوسته ای تا اعماق چند متری میباشد . پتانسیل ایجاد انرژی برای این روش میتواند از چشمه‌های طبیعی نظیر زلزله و یا چشمه های مصنوعی مانند انفجارات کنترل شده ومحدود ویا پرتاب وزنه وضربه تامین گردد. چیدمان خطوط لرزه نگاری را میتوان به صورت سطح به سطح ، سطح به چاه ، چاه به سطح و یا گالری به گالری در نظر گرفت. از روشهای متداول توموگرافی میتوان به توموگرافی لرزه ای بر پایه انتشار امواج، توموگرافی لرزه‌ای بر پایه پراش امواج، توموگرافی لرزه ای بر پایه انعکاس امواج اشاره نمود. در روش توموگرافی لرزه ای مدلسازی به لحاظ شبیه سازی شرایط زمین شناسی از اهمیت ویژه ای برخوردا است. برای حصول این شرایط انتخاب پارامترهای ناهمسانگرد مناسب و اعمال پارامترهای شناخته شده زمین شناسی مانند جهت شیب لایه ، شکستگی ها و سطح آبهای زیر زمینی ضروری است . لذا با استفاده از روش شبیه سازی، داده های لرزه ای مدل اولیه ساخته می شود و در مراحل دیگر، حالت شکستگیها با روش مستقیم به برنامه داده شده تا مدل اصلی بدست آید . در نتیجه با تلفیقی ازاعمال ناهمسانگردیهای مختلف، مدلی از سرعت امواج لرزه‌ای ساخته می شود که با مدل زمین شناسی (شامل روند لایه بندی ، ضخامت لایه بندی و وضعیت حفرات و تا اندازه ای جنس لایه بندی) همخوانی پیدا کرده باشد . در این گونه مطالعات امواج الاستیک توسط چشمه هایی تولید و پس از عبور از ناحیه مورد مطالعه توسط گیرنده‌هایی که ارتعاشات مکانیکی را به جریانهای الکتریکی تبدیل میکند جمع آوری و به صورت سری زمانی آنالوگ یا دیجیتال روی نوار مغناطیسی ذخیره میگردند. معمولا پس از انجام اندازه گیری‌های صحرایی با استفاده از روش بازسازی جبری(**ART**) ، بازسازی باز گشتی همزمان (**SIRT**) و حداقل مربعات با تقریب مرتبه اول معادلات (**LSQR**) کار مقایسه و تفسیر انجام میپذیرد. نکته قابل توجه اینست که در انواع روشهای توموگرافی انتخاب مدل پارامتری و گزینش الگوریتم ریاضی مناسب مدل ساخته شده با تعیین روش معکوس تقریبا عمومیت خواهد داشت[۳]

۲-توموگرافی لرزه ای در مهندسی سد و سازه

اخیرا روشهای ژئو توموگرافی کاربرد گسترده ای در تامین نیازهای مهندسین سد و سازه یافته است. تا حدود یک دهه پیش ، تنها با انجام مطالعات زمین شناسی در نواحی ناهموار و کوهستانی، اطلاعات کامل طراحی و ساخت سازه هایئ از قبیل تونل و سد قابل استحصال نبودند لیکن با استفاده از روش تومو گرافی لرزه ای پارامترهائی از قبیل استحکام مکانیکی سنگ ، شرایط ترک خوردگیها ، شناسائی کارست ها و گنبدهای نمکی ،عمق و میزان هوازدگی ، درصد آب و یا خاک ، موقعیت گسلها ، نواحی خرد شده و همچنین کمیتهای ثانویه نظیر ضرایب استاتیک و دینامیکی خاک با کیفیت بهتری قابل محاسبه شدند .از مجموعه روشهای ژئوتوموگرافی ، توموگرافی بر پایه انتشار و جذب امواج الاستیک بیشترین کاربری را در مهندسی سازه و انتخاب ساختگاه سد ، پل و تونل را دارد.همچنین میزان سرعت امواج، اطلاعات مفیدی از ویژگیهای لایه هایی که بر سر راه امواج واقع شده اند را در بر دارد که بر اساس یافتن یک بی هنجاری کم سرعت در آن مقطع، با دقت نسبتا مناسبی موقعیت زون خرد شده با درزه و شکاف های گسترده را مورد شناسایی قرار میدهد. بر اساس این نتایج پس از حفر گمانه ژئوتکنیکی تمهیدات لازم جهت استحکام تونل انجام خواهد شد.

۳- مشاهدات

سد و نیروگاه رودبارلرستان در استان لرستان و در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان الیگودرز قرار دارد . دبی متوسط سالیانه رودخانه در محل محور سد حدود ۳۰ مترمکعب بر ثانیه و مساحت حوزه آبریز آن حدود ۲۲۵۵ کیلومتر مربع می‌باشد. مورفولوژی رودخانه در محدوده مورد مطالعه به گونه‌ای است که رودخانه رودبار پس از طی حدود ۳۵ کیلومتر و یک چرخش U شکل مجدداً از سه کیلومتری پائین‌دست محور سد عبور می‌نماید و این چرخش اختلاف ارتفاعی حدود ۳۰۰ متر در نزدیکترین فاصله افقی با محور سد در روستای محمدآباد(در محلی که رودخانه نام الکن را بخود می‌گیرد) ایجاد می‌نماید رودخانه رودبار پس از طی حدود ۳۳ کیلومتر درجهت جنوب شرقی به محل ساختگاه سدرسیده وسپس به صورت یک چرخش U شکل (که از این پس رودخانه الکن شروع می شود) به محل پیشنهادی نیروگاه می‌رسدکه تقریبا در فاصله ۳ کیلومتری پائین‌دست محور سدواقع شده است. .هدف از احداث سد و نیروگاه رودبار استفاده از این پتانسیل طبیعی به همراه پتانسیل ایجادشده در اثر شکل‌گیری مخزن سد به منظور تولید انرژی می‌باشد. مختصات جغرافیایی ساختگاه سد و نیروگاه به ترتیب عبارت است از:

عرض جغرافیایی ″۱۹ و ′۵۴ و °۳۲ شمالی

و طول جغرافیایی ″۰۵ و ′۴۱ و °۴۹خاوری

۴-زمین‌ریخت‌شناسی منطقه

در بخشی از زاگرس شمالی که گستره مورد بررسی در آن واقع شده مهمترین واحدهایی که رخنمون دارند شامل سازندهای آهکی- دولومیتی نظیر دالان و سروک، سازندهای واجد لیتولوژی شکل‌پذیر نظیر شیل و مارن متشکل از سازندهای هرمز و میلا و سازندهای حد واسط (لیتولوژی آهک مارنی و مارن) نظیر سازند گرو می‌باشند. به دلیل اختلاف مقاومت و فرسایش‌پذیری بین سنگهای تشکیل‌دهنده این سازندها دو مورفولوژی متفاوت بوجود آمده که اولی کوهها و ستیغ‌های بلند با مورفولوژی خشن و دومی حالت تپه ماهوری با مورفولوژی نسبتاً ملایم می‌باشند[۱].

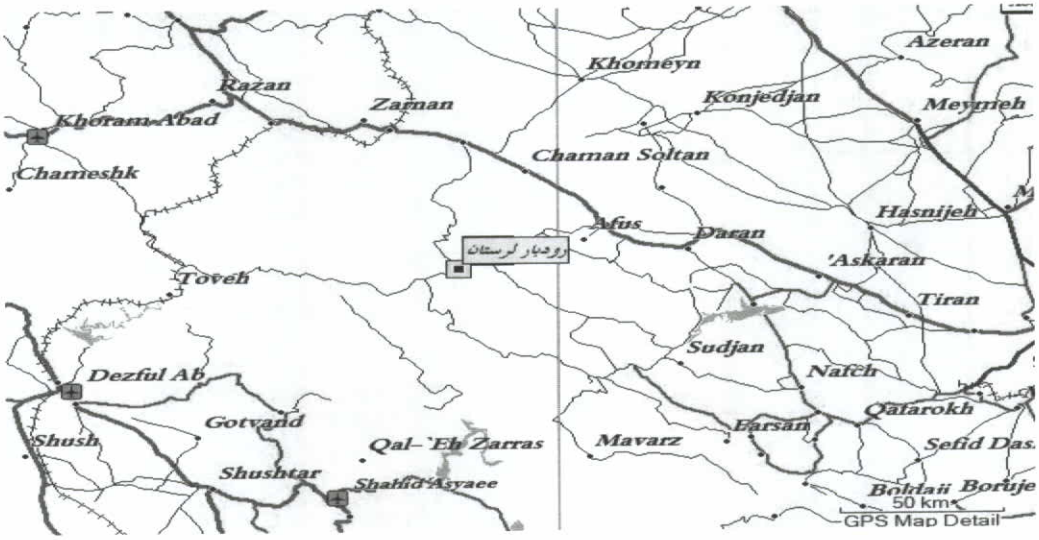
۵-زمین‌ساخت منطقه

ساختارهای شکننده نظیر گسلها و درزه‌ها در محدوده مورد مطالعه، ساختار اصلی تکتونیکی منطقه را تشکیل داده و به واسطه قرارگیری در پهنه زاگرس بلند (زاگرس خردشده) از تنوع ویژه‌ای نیز برخوردارند. گسل‌های مزبور که شامل گسله‌های راندگی (واژگون)، گسله‌های نرمال و گسله‌های امتداد لغز می‌باشند باعث ایجاد بلوکهای گسلیده از سازندهای مختلف شده که در کنار یکدیگر قرارگرفته‌اند.[۱]

۶-بحث و بررسی

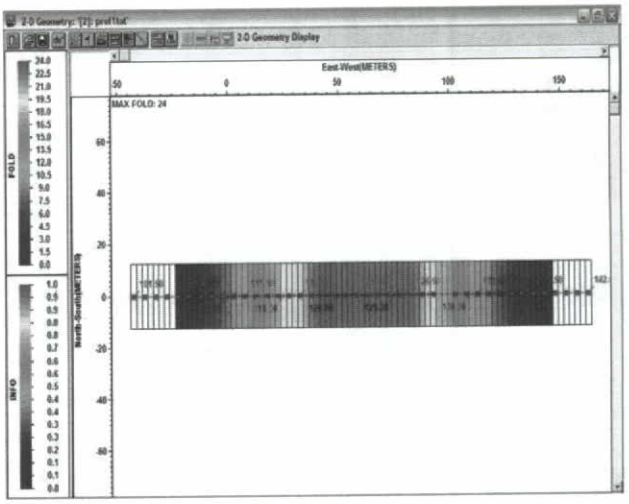
مراحل پردازش اطلاعات در طول خطوط برداشت شده.شامل فعالیتهای ذیل میباشد:

تعیین مقدار پوشش زیر سطحی (شکل ۲)، تعیین فرمت نوشتاری رکوردها، کنترل داده ها، حذف داده های نوفه ای شدید، اعمال هندسه برداشت ، اعمال استاتیک به گیرنده ها و انفجارات ، تعیین رسیده های اولیه، اعمال فیلتر **F-K** مناسب جهت حذف اثرات **Air Wave , GroundRoll** ، حذف

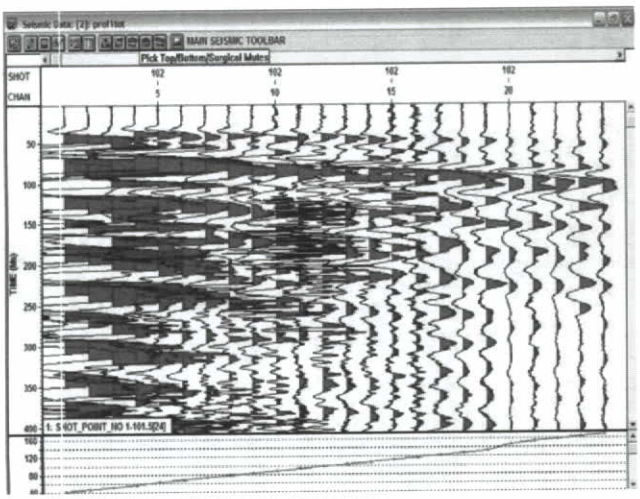


شکل (۱): نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

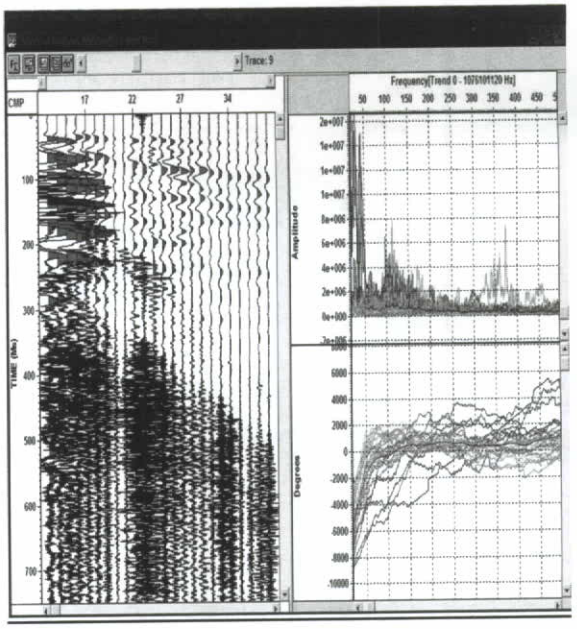
نوفه های همدوس (**Coherent Noise**) ، بردن داده ها به حوزه نقطه مشترک میانی (**CMP Gather**)،واهمامیخت نمودن داده ها، تجزیه و تحلیل سرعت، برانبارش و در نهایت پس از بالا بردن کیفیت داده های بر انبارش شده تبدیل مدل زمان به عمق صورت گرفته است و مقطع مسافت-زمان به همراه مسافت- عمق به جهت تفسیر، تهیه گردیده است.در ابتدا تک تک اطلاعات بدست آمده از چاه در حالت **Shot Point Gather** مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳).سپس فرکانس امواج به منظور شناسائی باند فرکانس امواج مزاحم و سیگنال مفید در هر شوت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این راستا فرکانس براساس دامنه و فاز برای هر رکورد بررسی و محتوای فرکانس قابل قبولی بدست آمده است (شکل۴).در راستای تهیه مقاطع توموگرافی **First Break** های امواج رسیده در هر شوت قرائت گردید و در نهایت منحنی زمان مسافت و مقاطع توموگرافی تهیه گردید.(شکلهای ۵ و۶)



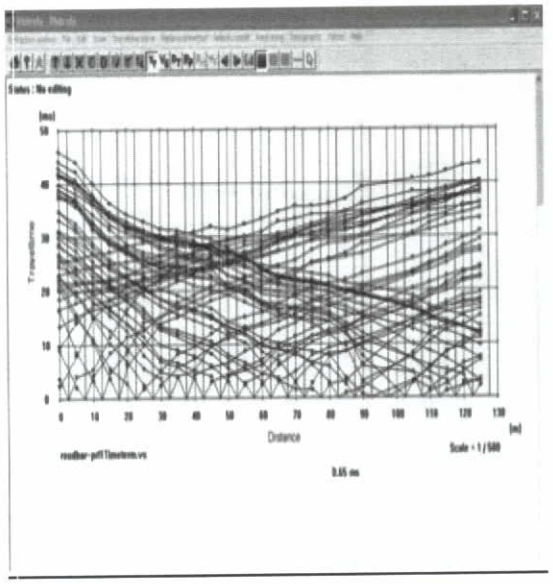
شکل (۲): ارزیابی مقدار پوشش زیر سطحی



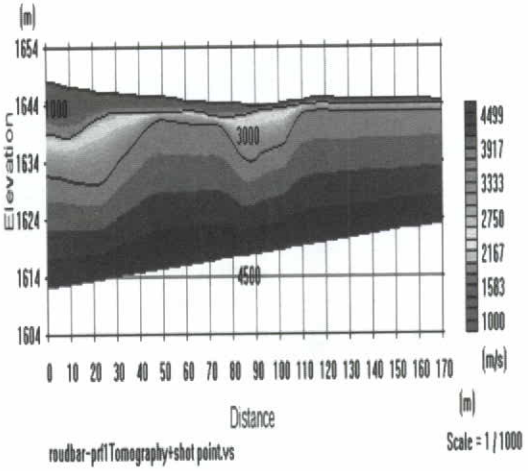
شکل (۳): یک نمونه از نمودارهای SHOT POINT GATHER



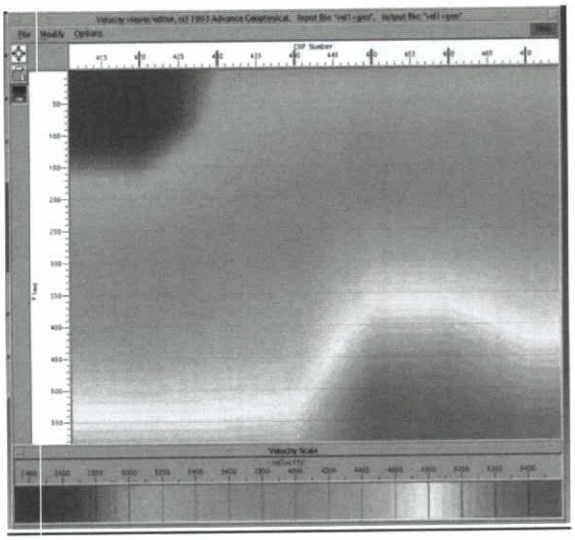
شکل (۴): نمونه ای از یک باند فرکانسی قابل قبول



شکل(۵): منحنی زمان- مسافت



شکل(۶): نمودار مقطع توموگرافی



شکل (۷): نمودار مدلسازی سرعت

۷-مقاطع آزمایش

در محدوده محور سد طی سه مقطع آزمایش توموگرافی انجام گرفته است (شکل ۸).

الف- مقطع توموگرافی بین شاخه اصلی گالری RG1 و شاخه اصلی گالری RG2

در این مقطع یک باند کم سرعت از موقعیت ابتدای گالری به سمت داخل مشاهده می‌شود که مقادیر سرعت انتشار حدود ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر بر ثانیه به طرف بالا گسترش می‌یابد. همچنین باند

ضعیف و کم سرعت دیگر و با پهنای کمتر در بخش میانی مقطع با مقادیر سرعت انتشار حدود ۲۷۵۰ متر بر ثانیه و نحوه گسترش آن قابل توجه می‌باشد. از بخش میانی گالری به سمت تکیه‌گاه سرعت انتشار افزایش یافته و به بیش از ۴۵۰۰متر بر ثانیه می‌رسد که نشان‌دهنده کیفیت خوب سنگ می‌باشد.

ب- مقطع توموگرافی بین شاخه اصلی گالری LG1 و شاخه اصلی گالری LG2

در این مقطع نیز یک باند کم سرعت از بخش ابتدائی تا میانی حد فاصل گالری‌های LG_1 و LG_2 با مقادیر سرعت ۲۵۰۰ تا ۳۲۵۰ متر بر ثانیه مشاهده می‌شود که این وضعیت نشان‌دهنده تغییرات کیفی سنگ در محدوده موردنظر می‌باشد.

ج- مقطع توموگرافی بین گمانه دیلاتومتری DR_1 و گالری RG_2 (تکیه‌گاه راست)

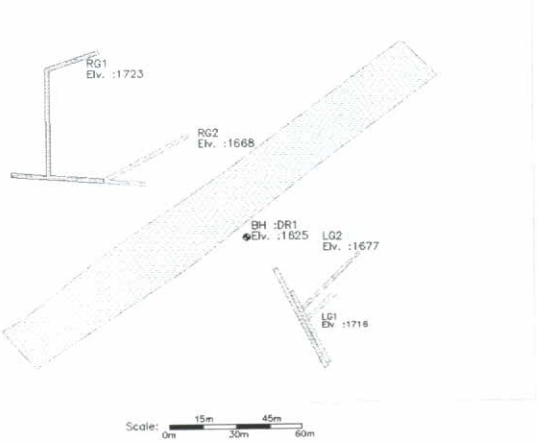
با توجه به مسدودشدن گمانه RB_{19} امکان انجام آزمایش تا اعماق بیشتر زیر پی سد میسر نگردید و برای بستر سد گمانه کم عمق DR_1 (۳۰ متر) مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که از عمق به سمت بخشهای سطحی کاهش سرعت موج کاملاً مشخص بوده که می‌تواند ناشی از افزایش هوازدگی و رهائی تنش در سنگ باشد.

د - مقطع توموگرافی بین گمانه دیلاتومتری DR1 و گالری LG2

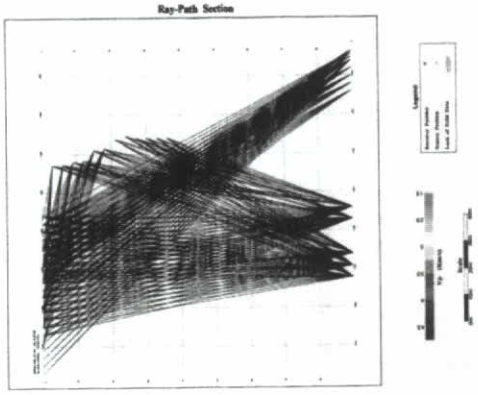
نکته قابل توجه در این مقطع نیز کاهش نسبی سرعت موج از اعماق بیشتر توده سنگ در حرکت به سمت جوار دره مسیر عبور رودخانه می‌باشد که می‌تواند ناشی از افزایش هوازدگی سنگ باشد.

۸-نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست‌آمده از آزمایشات انجام‌شده که بصورت مقاطع هم سرعت انتشار امواج لرزه‌ای ارائه گردیده است کیفیت و وضعیت کلی توده سنگ در مناطقی که سرعت انتشار موج پائین است معرف وجود مناطق خردشده و درز و شکاف‌دار و زون‌های رهائی تنش در سنگ باشد و مناطقی که از سرعت انتشار موج لرزه‌ای بالا برخوردار است معرف وضعیت نسبی بهتر سنگ می‌باشد.به طور کلی در مقاطع ما بین گالری های غیر همتراز وضعیت لایه بندیها به صورت آنومالیهای نواری شکل کم سرعت مشاهده میگردد . بطورکلی با توجه به مقطع ارائه شده می‌توان اظهار نمود کیفیت سنگ در نواحی سطحی نامطلوب ولی به سمت عمق و تکیه‌گاهها بهتر می‌گردد. در مقاطع اجرا شده مابین گمانه **RD1** و گالریهای **RG2, LG2** نیز کاهش نسبی سرعت موج از اعماق بیشتر توده سنگ در حرکت به سمت جوار دره مسیر عبور رودخانه نیز مشاهده میگرددکه میتواند ناشی از افزایش هوازدگی و همچنین زون رهائی تنش در سنگ باشد. در محدوده نیروگاه نیز وجود آنومالیهای کم و پر سرعت موضعی در این مقطع مشاهده میگردد که بیانگر تغییرات کیفی توده سنگ است. سرعت انتشار پایین امواج در این محدوده احتمالا میتواند نشانگر تغییرات هوازدگی و یا لیتولوژی محدوده مورد بررسی باشد . مناطق با سرعت بالاتر موج میتواند نمایانگر وضعیت استقرار بستر سنگی سالمتر و با کیفیت بالاتر باشد.

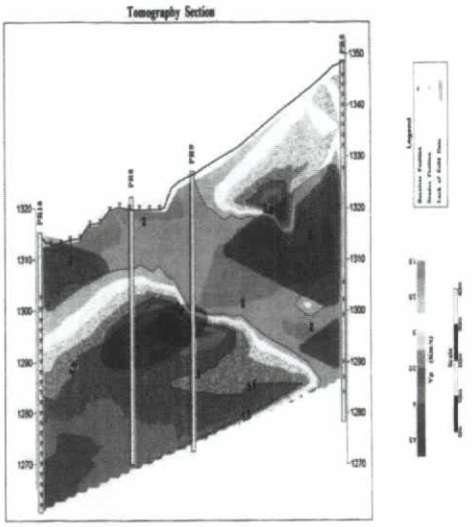


شکل(۸): مقطع توموگرافی لرزه ای



شکل(۹): مقطع مسیر موج

نگارنده مقاله از همکاری جناب آقای دکتر عسگری مدیرگروه سد و نیروگاه و مدیر محترم پروژه شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران به خاطر ارائه راهنمائی و همکاری های لازم صمیمانه سپاسگزاری میگردد.



شکل (۱۰): نمودار مقطع توموگرافی

مراجع

۱- شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو ، (۱۳۸۶) ، گزارشات مطالعات مرحله دوم زمین شناسی مهندسی، احداث سد و ساختگاه رودبار لرستان

۲- اکبری ، س.;(۱۳۷۹), توموگرافی لرزه ای با استفاده از روش مستقیم و معکوس ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۳- ریاحی ، م .اکبری ، س.; (۱۳۸۴) ، ردیابی موج با استفاده از زمان همدوسی و معکوس زمان سیرهای باقیمانده ، مجله فیزیک زمین و فضا ، جلد ۳۱ – شماره ۱

4-Aki, K. , Christofersson, A ., and Husebye, E.s. , 1974 : Three dimensional Siesmic Velocity anomalies Trans . Am .Geophys. union.56.1145.

بیوگرافی

خانم فروزان فرخ پور دانشجوی دکتری زمین شناسی ازسال ۱۳۷۵ در شرکت قدس‌نیرو مشغول بکار است. علاقمندی ایشان در زمینه مباحث مربوط به زمین شناسی مهندسی و پترولوژی می باشد.

Email:Ffarokhpour@ghods-niroo.com

الگوریتم مدیریت استراتژیک با تاکید بر بستر سازی استراتژی و بکارگیری مدل بلوغ مدیریت فرایندهای کسب و کار پیشنهادی

راحله نعمتی

کارشناس ارشد کنترل پروژه - SBU آب و ابنیه

کلمات کلیدی :

مدیریت استراتژیک، استراتژی، توانمندسازها، بسترسازی استراتژی،تفکر استراتژیک، مدل بلوغ مدیریت فرایندهای کسب و کار

چکیده

دغدغه اصلی مدیران بعد از تعیین استراتژی های سازمان، چگونگی بستر سازی برای پیاده سازی و اجرای موفق استراتژی های تعیین شده و کنترل و نظارت بر اجرای آنها میباشد. اما از آنجائیکه که الگوریتم‌های مدیریت استراتژیک موجود وظیفه‌گرا هستند و اشاره محدودی به فرایندگرایی دارند، از پویایی لازم جهت پیاده سازی استراتژی های سازمان برخوردار نیستند. لذا، در این تحقیق نسبت به ارائه الگوریتم مدیریت استراتژیک با تاکید بر بستر سازی استراتژی و با رویکرد فرایندگرایی و مدیریت فرایندها که سازمان‌ها را در زمینه مدیریت، بهبود و افزایش بلوغ فرایندها در جهت رسیدن به استراتژی‌ها یاری می‌دهد اقدام شده است.

در این راستا، از رویکرد توصیفی جهت تعیین استراتژی سازمان استفاده شده، سپس بمنظور بستر سازی استراتژی، توانمندسازهای استراتژی بررسی گردیده و مهارتهای مدیریتی بمنظور کنترل و نظارت بر اجرای استراتژی ها در این مرحله مورد توجه قرار گرفته اند. در ادامه مدل بلوغ مدیریت فرایندهای کسب و کار پیشنهادی که توسط نگارنده با نام مدل"بلوغ فرایند و سازمان توسعه یافته"قبلاً ارائه گردیده بهبود داده شده و به عنوان یک ابزار در بخش توانمند ساز فرایندها جهت افزایش بلوغ فرایندی و بهبود فرایندها در الگوریتم مدیریت استراتژیک بکار گرفته شده و در قالب الگوریتم پیشنهادی ارائه شده است .در واقع الگوریتم پیشنهادی، توسعه یافته الگوریتم "استراتژی اثربخش و برنامه‌ریزی برای پیاده‌سازی آن" میباشد که قبلاً توسط نگارنده ارائه گردیده است.

۱-مقدمه

دغدغه اصلی مدیران بعد از تعیین استراتژی‌های سازمان، چگونگی بستر سازی برای پیاده سازی و اجرای موفق استراتژی‌های تعیین شده و کنترل و نظارت بر اجرای آنها میباشد. بمنظور بسترسازی استراتژی سازمان باید از وجود توانمندسازها اطمینان حاصل نماید و یا بعبارتی مطمئن گردد که تمام منابع ضروری برای رسیدن به استراتژی و پیاده سازی آن را دارا میباشد و یا آنها را بدست خواهد آورد. که در این مقاله این توانمندسازها مورد بررسی قرار گرفته است. و از سایر ابزارهای مدیریتی دربخش توانمند سازها استفاده شده که در ادامه توضیح داده شده است.

۲- ادبیات موضوع مدل‌های بلوغ مدیریت فرایندهای کسب و کار

پالک بیان می‌کند که بهبود بلوغ سازمان‌ها در زمینه مدیریت فرایندهای کسب وکار منجر به "افزایش قابلیت‌های فرایندهای سازمان" می‌شود. در نتیجه، تعداد زیادی مدل بمنظور اندازه‌گیری بلوغ جنبه‌های مختلف مدیریت فرایندهای کسب وکار پیشنهاد شده است. پایه و اساس مشترک بیشتر این مدل‌ها "مدل بلوغ قابلیت‌ها[1] " بوده که در ابتدا برای ارزیابی بلوغ فرایندهای توسعه نرم‌افزار ایجاد شده است.در میان تمام کسانی که مدل بلوغ پیشنهاد داده‌اند، هارمن (Harmon) مدل بلوغ فرایندهای کسب و کار را بر اساس CMM[1] ایجاد نمود. در روشی مشابه فیشر (Fisher) "پنج اهرم تغییر " را

1-Capability Maturity Model

با پنج سطح از بلوغ ترکیب می‌کند .اسمیت و فینگا(Smith and Fingar) معتقدند که مدلهای بلوغ مبتنی بر CMM که فرایندهای تکرارپذیر و به طور مناسب سازماندهی شده را الزام می‌دارند، خلاقیت و ابتکار را در فرایندهای کسب و کار در نظر نمی‌گیرند . Bill Curtis مدل بلوغ بعدی را با پنج سطح پیشنهاد داد.راملر-براشه (Rummler- Brache) ده فاکتور بحرانی موفقیت را در مدیریت فرایندهای کلیدی کسب و کار تعیین کردند. پیچارد و آرمیستد(Pritchard & Armistead) سازمان‌ها را بر اساس صلاحیت و میزان پیشرفت آنها در اجرای مدیریت فرایندهای کسب و کار گروه‌بندی نمودند . مل (Maull et al) نیز هنگام تعیین بلوغ در فرایندهای BPR با مشکل فقدان امکان استفاده از معیارهای عینی روبرو شد . مک کیب و دتورو (DeToro & McCabe) از دو بعد کارایی و اثربخشی جهت تعیین وضعیت سازمان‌ها استفاده کردند. مایکل رزمن، تونیا دی برا، بردپاور(Michael Rosemann,T Bruin, Brad Power) در سال ۲۰۰۵ و مایکل همر (Michel Hammer) در سال ۲۰۰۷ مدلهای بعدی را معرفی نمودند[1]. همچنین مدل Michael Melenovsky and Jim Sinur [2] و مدل گروه مدیریت فرایندهای کسب و کار(BPM GROUP) [3] جهت مدیریت فرایندها پیشنهاد شده اند.

۳-مدل پیشنهادی بهبود یافته

۳-۱- مقدمه

در مقاله قبلی که مدل"بلوغ فرایند و سازمان توسعه یافته[1]" توسط نگارنده پیشنهاد گردید مدلهای ذیل مورد بررسی قرار گرفتند: مدل Harmon [9]، بخش فرایندی مدلEFQM [12]، مدلFisher [8]، مدل Bill [11] Curtis، مدل Rummler–Brache [10]، مدل [13] Michel Hammer، مدل , Michael Rosemann [7] Tonia de Bruin, Brad Power

مدل پیشنهادی پس از بررسی برخی دیگر از مدلها بهبود داده شد که مدلهایی که در این مرحله مورد بررسی قرار گرفتند عبارتند از:

مدل Michael Melenovsky and Jim Sinur [2] و مدل BPM GROUP [3] .

درگام نخست دو مدل اخیر نیز بمنظور تعیین مدل پایه، مورد مقایسه قرار گرفته و مزایا و معایب هر یک از آنها تعیین گردید.(جدول ۱). پس از مقایسه مدل‌ها و بررسی مزایا و معایب هر یک از آنها، در این مرحله نیز مدل"مایکل رزمن، تونیا دی بران و برد پاور" و مدل "مایکل همر" به عنوان دو گزینه برتر انتخاب شدند. ولی از آنجا که اقدامات تعیین شده در مدل "مایکل رزمن، تونیا دی بران و برد پاور" به طور ماتریسی نبوده و همچنین دسته‌بندی فاکتورها به تفکیک فرایند و سازمان نیست، بکارگیری آن در سازمان‌های ایرانی که در زمینه فرایندگرایی و فرایندمحوری در ابتدای راه بوده مشکل است [1] .لذا مدل"مایکل همر" که از هر دو مزیت فوق برخوردار است به عنوان مدل پایه در این مرحله انتخاب گردید. در ضمن می‌توان سایر مزایای مدل‌های دیگر (مانند ابعاد مدل) را نیز به‌آن اضافه نمود. پس از تعیین مدل پایه ، بمنظور اطمینان از جامعیت مدل پایه انتخابی از نقطه نظر فاکتورهای موثر در مدیریت فرایندهای کسب و کار ، مدلها بر اساس فاکتورهای موثر در مدیریت فرایندهای کسب و کار مورد مقایسه قرار گرفتند. همانطور که مقایسه مدل‌ها (جدول۲) نشان می‌دهد فاکتورهای "همراستایی با استراتژی سازمان"، "استراتژی"، "تکنولوژی اطلاعات" ، "متدها"و "ذی نفعان" در مدل پایه به طور واضح و مشخص مطرح نشده‌اند در حالیکه در سایر مدل‌ها[2,3,7,8,10,12] به عنوان فاکتورهای مجزا آورده شده است. لذا موارد ذکر شده باید به مدل پایه اضافه گردد و در این مرحله فاکتور "ذی نفعان" به مدل قبلی که نگارنده پیشنهاد داده بود اضافه گردید. همچنین مدل پایه دارای دو بعد "فاکتورها" و "مراحل بلوغ" است. در صورتی که برخی مدل‌ها دارای سه بعد هستند. بنابراین بعد "دامنه" را می‌توان به مدل اضافه نمود .

۳-۲-مشخصات مدل پیشنهادی بهبود یافته

ممکن است در شرایطی که سازمان بالغ نباشد، بتوان بلوغ فرایندها را به کمک برخی از افراد در سازمان بهبود داد. ولی این وضعیت پایدار نمی‌ماند بعبارت دیگر بلوغ پایدار فرایندها نیازمند و وابسته به بلوغ سازمانی است. در این راستا مدل پیشنهادی بمنظور تعیین بلوغ مدیریت فرایندهای کسب و کار سازمان، بلوغ فرایند و بلوغ سازمان را به طور جداگانه مورد

1-Developed Process and Enterprise Maturity Model(DPEMM)

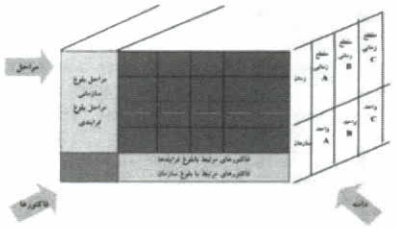
جدول(۱): مزایا و معایب هر مدل

ردیف	نام مدل / نتیجه مقایسه	مزایا	معایب
۱	مدل Fisher	اقدامات به تفکیک فاکتور و مراحل بلوغ به صورت ماتریسی تعیین شده است. تعداد مراحل بلوغ مناسب میباشد قابل استفاده در همه سازمانها میباشد	دسته بندی فاکتورها به صورت کلی میباشد عدم وضوح اقدامات تعیین شده در هر مرحله بلوغ جهت پیاده سازی در سازمان ها دو بعدی میباشد.و دارای بعد دامنه (سازمانی و زمانی)نمیباشد.
۲	مدل Rummler-Brache	قابل استفاده در همه سازمانها میباشد - - - -	دسته بندی فاکتورها به صورت کلی میباشد اقدامات به تفکیک فاکتور تعیین شده است. عدم وضوح اقدامات تعیین شده در هر مرحله بلوغ تعداد مراحل بلوغ کم میباشد. دو بعدی میباشد.و دارای بعد دامنه (سازمانی و زمانی)نمیباشد.
۳	مدل Harmon	تعداد مراحل بلوغ مناسب میباشد قابل استفاده در همه سازمانها میباشد	دسته بندی فاکتورها به صورت کلی میباشد اقدامات به تفکیک مراحل بلوغ تعیین شده است. عدم وضوح اقدامات تعیین شده در هر مرحله بلوغ جهت پیاده سازی در سازمان ها یک بعدی میباشد و دارای بعد فاکتور و دامنه(سازمانی وزمانی) نمیباشد
۴	مدل Michael Rosemann, Tonia de Bruin, Brad Power	واضح بودن اقدامات تعیین شده به تفکیک فاکتور تعداد مراحل بلوغ مناسب میباشد سه بعدی میباشد.و دارای بعد دامنه (سازمانی و زمانی)میباشد. قابل استفاده در همه سازمانها میباشد	دسته بندی فاکتورها به صورت کلی میباشد اقدامات به تفکیک فاکتور تعیین شده است. - -
۵	مدل Bill Curtis	واضح بودن اقدامات تعیین شده به تفکیک فاکتور تعداد مراحل بلوغ مناسب میباشد قابل استفاده در همه سازمانها میباشد	دسته بندی فاکتورها فقط به تفکیک فرایندها میباشد اقدامات به تفکیک مراحل بلوغ تعیین شده است. یک بعدی میباشد و دارای بعد فاکتور و دامنه(سازمانی وزمانی) نمیباشد
۶	مدل Michel Hammer	دسته بندی فاکتورها به تفکیک فرایند و سازمان میباشد اقدامات به تفکیک فاکتور و مراحل بلوغ به صورت ماتریسی تعیین شده است. واضح بودن اقدامات تعیین شده به تفکیک فاکتور و مراحل بلوغ قابل استفاده در همه سازمانها میباشد	تعداد مراحل بلوغ نسبت به سایر مدلها کمتر میباشد. دو بعدی میباشد.و دارای بعد دامنه (سازمانی و زمانی)نمیباشد. - -
۷	مدل EFQM-(در بخش فرایندها)	واضح بودن اقدامات تعیین شده به تفکیک فاکتور قابل استفاده در همه سازمانها میباشد - -	دسته بندی فاکتورها به صورت کلی میباشد اقدامات به تفکیک فاکتور تعیین شده است. مراحل بلوغ تعیین نشده است یک بعدی میباشد و دارای بعد فاکتور و دامنه(سازمانی وزمانی) نمیباشد
۸	مدل گروه مدیریت فرایندهای کسب و کار(BPM GROUP)	اقدامات به تفکیک فاکتور و مراحل بلوغ به صورت ماتریسی تعیین شده است. واضح بودن اقدامات تعیین شده به تفکیک فاکتور و مراحل بلوغ تعداد مراحل بلوغ مناسب میباشد قابل استفاده در همه سازمانها میباشد	دسته بندی فاکتورها به صورت کلی میباشد دو بعدی میباشد.و دارای بعد دامنه (سازمانی و زمانی)نمیباشد. - -
۸	مدل Michael Melenovsky and Jim Sinur	اقدامات به تفکیک فاکتور و مراحل بلوغ به صورت ماتریسی تعیین شده است. واضح بودن اقدامات تعیین شده به تفکیک فاکتور و مراحل بلوغ تعداد مراحل بلوغ مناسب میباشد قابل استفاده در همه سازمانها میباشد	دسته بندی فاکتورها به صورت کلی میباشد دو بعدی میباشد.و دارای بعد دامنه (سازمانی و زمانی)نمیباشد. - -

جدول(۲):نتایج مقایسه مدل‌ها در مرحله دوم

		فاکتورها	زیر فاکتورها	مدل Fisher	مدل Rummler-Brache	مدل Harmon*	مدل Michael Rosemann, Tonia de Bruin, Brad Power	مدل Bill Curtis*	مدل EFQM-(در بخش	مدل گروه مدیریت فرایندهای کسب و کار(BPM GROUP)	مدل Michael Melenovsky and Jim Sinur
مدل Michel Hammer	فاکتورهای مرتبط با فرایندها	طراحی	هدف	-	-		فاکتور ۵		فاکتور ۲	-	-
			زمینه	-	-		فاکتور ۱		فاکتور ۱	-	-
			مستندات	-	-		-		فاکتور ۲	-	-
		کنندگان کار	دانش	فاکتور ۳	-		فاکتور ۵		فاکتور ۳	فاکتور ۳	فاکتور ۳
			مهارت	فاکتور ۳	-		فاکتور ۵		فاکتور ۳	فاکتور ۳	فاکتور ۳
			رفتار	فاکتور ۳	-		فاکتور ۶		فاکتور۳		فاکتور ۳
		صاحب کار	هویت	فاکتور ۳	-	-	-	-	فاکتور ۲	-	فاکتور ۳
			فعالیتها	فاکتور ۳	-		-		فاکتور ۲	-	فاکتور ۳
			اختیارات	فاکتور ۳	-		-		فاکتور ۲	-	فاکتور ۳
		زیرساخت	نظام اطلاعات	-	فاکتور ۹		-		-	فاکتور ۲	-
			نظام های منابع انسانی	-	-		فاکتور ۲		فاکتور ۳	-	-
		معیارها	تعریف	فاکتور ۲	فاکتور ۶		فاکتور ۱		فاکتور ۴	فاکتور ۴	-
			کاربردها	فاکتور ۲	فاکتور ۸		فاکتور ۲		فاکتور ۴	فاکتور ۴	-
	فاکتورهای مرتبط با سازمان	رهبری	آگاهی	فاکتور ۴	فاکتور ۳		فاکتور ۶		-	فاکتور ۱	فاکتور ۲
			هم سویی	فاکتور ۴	-		فاکتور ۵		-	فاکتور ۱	فاکتور ۲
			رفتار	فاکتور ۴	-		فاکتور ۶		-	فاکتور ۱	فاکتور ۲
			سبک	فاکتور ۲	فاکتور ۴		-		-	فاکتور ۱	فاکتور ۲
		فرهنگ	کار تیمی	فاکتور ۲	-		-		فاکتور۳	فاکتور ۵	فاکتور ۲
			مشتری مداری	فاکتور ۴	فاکتور ۷		-		-	-	فاکتور ۲
			مسئولیت	فاکتور ۴	-	-	-	-	-	فاکتور ۲	فاکتور ۲
			نگرش به تحول	فاکتور ۴	فاکتور ۱۰		فاکتور ۶		فاکتور ۵	فاکتور ۲	فاکتور ۲
		تخصص	افراد	-	فاکتور ۳		-		-	فاکتور ۵	-
			روش	فاکتور ۲	فاکتور ۵		فاکتور ۲		-	-	-
		حاکمیت	مدل فرایند	فاکتور ۳	فاکتور ۲		-		فاکتور ۱	-	فاکتور ۴
			پاسخگویی	فاکتور۲	-		فاکتور ۲		فاکتور ۲	-	فاکتور ۴
			یکپارچگی	فاکتور ۲	-		-		-	فاکتور ۸	فاکتور ۴
	فاکتورهایی که در مدل Michel Hammer به آنها اشاره نشده است.										
		همراستایی با استراتژی		فاکتور ۱		-	فاکتور ۱	-	فاکتور ۱	-	فاکتور ۱
		استراتژی سازمان		فاکتور ۱	-		-		-	-	-
		تکنولوژی اطلاعات		فاکتور ۵	-		فاکتور ۴		-	فاکتور ۶	فاکتور ۶
		متدها		-	-		فاکتور ۳		-	فاکتور ۶	فاکتور ۵
		مشخصه های ذینفعان		-	-		-		-	فاکتور ۷	-

* اقدامات تعیین شده به تفکیک فاکتور بیان نشده است.



شکل (۱):ابعاد مدل پیشنهادی

بررسی قرار می‌دهد. مدل پیشنهادی "بلوغ فرایند و سازمان توسعه یافته" دارای سه بعد (شکل ۱) می باشد:

- بعد فاکتورها: شامل فاکتورهای مرتبط با بلوغ فرایندها و فاکتورهای مرتبط با بلوغ سازمان.
- بعد مراحل بلوغ: شامل مراحل بلوغ هر یک از فاکتورهای مرتبط با بلوغ فرایندها و بلوغ سازمان.
- بعد دامنه: شامل دامنه سازمانی و زمانی(نشاندهنده مقطع زمانی بکارگیری مدل و زیر بخش یا واحدی از سازمان که مدل بکارگرفته می شود)

طبق این مدل، به منظور آمادگی برای مدیریت فرایندهای کسب و کار و برنامه‌ریزی و ارزیابی پیشرفت آنها، سازمان‌ها باید نسبت به وضعیت بلوغ "فاکتورهای مرتبط با بلوغ فرایندها" و "فاکتورهای مرتبط با بلوغ سازمان" در مقاطع زمانی مختلف و در کل سازمان و یا بخش و واحدی از آن شناخت پیدا کنند.

۳-۲-۱- بلوغ فرایندها در مدل دی.پی.ای.ام.ام

وجود پنج فاکتور برای عملکرد درست هر فرایند و بلوغ آن ضروری است که عبارتند از: طراحی، کنندگان کار، صاحب کار، زیرساخت‌ها، معیار اندازه‌گیری.فاکتورهای پنج‌گانه به صورت نزدیک و مشترک، به هم پیچیده و مرتبط هستند. نبود هر کدام از آنها، موجب ناکارایی دیگران هم می‌شود. هر کدام از فاکتورها دارای زیرفاکتورهایی است (جدول ۳).

فاکتورهای موثر در بلوغ فرایندها از چهار مرحله بلوغ متفاوت برخوردارند که هر یک از این مراحل، بر مرحله پیشین استوار هستند (جدول۳). هر چه این فاکتورها از مرحله بلوغ بالاتری برخوردار باشند، نتایج ارزنده‌تری به بار خواهند آورد . چنانچه همه فاکتورها در مرحله پی.یک یا پی.دو قرار گرفته باشند کل فرایند نیز در همان مرحله جای دارد. اگر چهار تا از فاکتورها به مرحله‌ای مشخص رسیده باشند، نمی‌توان گفت که کل فرایند به آن مرحله رسیده است. بلکه به مرحله پایین‌تر تعلق خواهد داشت. در حالت استثنایی، اگر حتی یکی از فاکتورها آن چنان ضعیف باشد که به مرحله پی.یک هم نرسد کل فرایند در مرحله صفر (پی .صفر) جای دارد. هنگامی که سازمان زمینه فرایند محوری را آماده نکرده باشد، در مرحله پی.صفر قرار دارد.

با استفاده از جدول (۴) می‌توان بلوغ یک فرایند کسب و کار را ارزیابی و چگونگی بهبود عملکرد آن را مشخص کرد. باید تعیین شود که عبارات نوشته شده در هر مرحله بلوغ برای هر زیرفاکتور به چه میزان مصداق دارد. اگر هر عبارت تا حد زیادی مصداق داشته باشد (یا بعبارتی حداقل ۸۰ درصد) خانه مربوطه به رنگ خاکستری روشن، اگر تا حدی (یا بعبارتی بین ۲۰ تا ۸۰ درصد) مصداق داشته باشد، خانه مربوطه به رنگ سفید و اگر تا حد زیادی مغایرت داشته باشد (کمتر از ۲۰ درصد مصداق داشته باشد) خانه مربوطه به رنگ خاکستری تیره در آورده می‌شود. برای سازمان‌هایی که در تلاش هستند به سطح بالاتر بلوغ فرایندی ارتقا یابند، خانه‌هایی که با خاکستری روشن رنگ شده‌اند خوب کار می‌کنند و نیاز به توجه ویژه ندارند. رنگ سفید زمینه‌هایی را نشان می‌دهد که شرکت کارهای زیادی را برای انجام دارد. خانه‌هایی که خاکستری تیره شده‌اند تنگناها را نشان می‌دهند، جاهایی که مانع رسیدن فرایندها به عملکرد عالی می‌شود.

۳-۲-۲- بلوغ سازمان در مدل دی.پی.ای.ام.ام

برخورداری از فرایندهای بالغ که دارای عملکرد متعالی هستند، علاوه بر فاکتورهای پنجگانه فوق نیازمند ایجاد محیطی است که پیشرفت کار را به خوبی پشتیبانی کند. سازمان باید در هشت فاکتور دارای توانمندی لازم بوده و یا آنها را بیافریند که عبارتند از: رهبری، فرهنگ سازمانی، مهارت کارکنان، توان کنترل شرایط، تکنولوژی اطلاعات، متدها، استراتژی سازمان و ذی نفعان. تا زمانی که همه فاکتورهای ذکر شده در سراسر سازمان به وجود نیاید فاکتورهای مرتبط با بلوغ فرایندها نمی‌توانند به درستی انجام وظیفه کرده و عملکرد عالی فرایندها را تضمین کنند. هر کدام از فاکتورها دارای زیرفاکتورهایی بوده که در جدول (۴) آورده شده است.

"فاکتورهای مرتبط با بلوغ سازمان" هم در چهار مرحله مختلف خود را نشان می‌دهند. اگر فاکتورهای مرتبط با بلوغ سازمان در مرحله‌ای.یک باشد شرکت در مرحله یک از بلوغ است. این وضعیت شامل همه فاکتورهای مرتبط با بلوغ سازمان است. هر چه "فاکتورهای مرتبط با بلوغ سازمان" در مرحله

بالاتر از بلوغ باشد "فاکتورهای مرتبط با بلوغ فرایندها" نیرومندتر خواهند بود که نتیجه‌اش برخورداری شرکت از فرایندهایی با عملکرد بهتر است. بنابراین هنگامی که فاکتورهای مرتبط با بلوغ سازمان در هر هفت زمینه در سطح ای.یک باشد آمادگی برای ارتقا آنها به سطح ای.دو باید فراهم شود. پس از آن است که فاکتورهای مرتبط با بلوغ فرایندها نیز به سطح پی.دو بالا می‌روند و جریان به همین سبک ادامه می‌یابد (جدول۴).برای تعیین این موضوع که سازمان آماده پشتیبانی از تحول فرایند محور است، عبارات جدول (۴) همانند جدول ارزیابی بلوغ فرایندها باید مورد ارزیابی قرار گیرد. عبارات مذکور، سطوح بلوغ را برای فاکتورهایی که سازمان برای توسعه فرایندهای کسب و کار بدان نیاز دارد نشان می‌دهد.

۳-۲-۳-مشخصات کلی مدل دی.پی.ای.ام.ام. بهبود داده شده

در مدل بهبود داده شده ، "فاکتورهای مرتبط با بلوغ فرایندها" و "فاکتورهای مرتبط با بلوغ سازمان" ابزار ارزشمندی برای ارزیابی بلوغ فرایندهای کسب و کار و آمادگی پذیرش تحولات فرایند محور را به دست می‌دهند (بعد اول مدل).

این مدل، پرداختن به باز طراحی فرایندها را آسان می‌کند. از سوی دیگر، با آگاهی از مراحل بلوغ فاکتورهای مرتبط با بلوغ فرایندها و سازمان که در جریان تحول از وظیفه‌گرایی به فرایند محوری ضروری است، شرکت چشم بسته وارد تحولی همه جانبه و خطرناک نمی‌شود (بعد دوم مدل).لازم به ذکر است دامنه (زمانی و سازمانی) بکارگیری این مدل در سازمان‌ها متفاوت است. ممکن است یک سازمان به صورت کامل و سراسری آماده بازطراحی فرایندها نبوده ولی بخش، زیربخش و یا واحدهایی از سازمان این آمادگی را داشته باشند. در چنین شرایطی مدیریت باید تنها فاکتورهای مرتبط با بلوغ این گونه واحدها را ارزیابی نماید و پایه تصمیم‌گیری قرار دهد و فرایندهای این بخش را مورد باز طراحی قرار دهد. انجام فعالیت‌های باز طراحی فرایندها در یک واحد، موجب تشویق دیگر واحدها و کوشش در بالابردن مراحل بلوغ فاکتورهای مرتبط با بلوغ سازمان و فرایندها به طور سراسری در سازمان می‌شود. در ضمن، سازمان‌ها در مقاطع مختلف زمانی نسبت به باز طراحی فرایندها می‌پردازند. آنها در یک مقطع زمانی بلوغ فرایندها را تعیین می‌نماید و در مقطع زمانی بعدی با انجام اقدامات بهبود میزان افزایش بلوغ همان فرایندها را مورد بررسی قرار می‌دهند (بعد سوم مدل).

مدل پیشنهادی در مورد همه صنایع و فرایندهای گوناگون کاربرد دارد. شرکت‌ها می‌توانند این مدل را به‌صورت استاندارد و آسان به کار گیرند.مدیریت این مدل آسان است. حتی کسانی که تازه با فرایند آشنا شده‌اند با یک جلسه معرفی ابتدایی می‌توانند جدول‌ها را تکمیل ، تحلیل و نتیجه‌گیری نمایند.[1]

۴-الگوریتم مدیریت استراتژیک پیشنهادی با بکارگیری مدل بهبود داده شده

در این بخش الگوریتم پیشنهادی مدیریت استراتژیک با تاکید بر بستر سازی استراتژی و بکارگیری مدل بلوغ مدیریت فرایندهای کسب و کار پیشنهادی بهبود داده شده ارائه گردیده است.

۴-۱-مجموعه اول: اسناد کلی استراتژیک

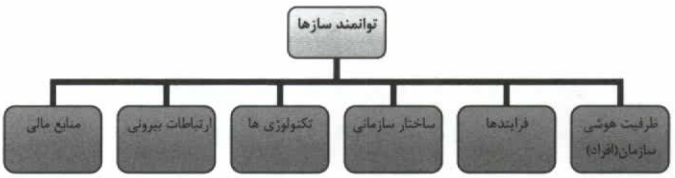
در ابتدا اسناد کلی استراتژیک سازمان شامل ماموریت، چشم‌انداز و اصول ارزشی تعیین میشود و متقاعد سازی پرسنل در راستای رسیدن به چشم انداز صورت میگیرد که این مرحله شامل اعتماد سازی، برقراری ارتباطات، اطلاع رسانی در مورد چشم انداز و علاقه‌مند کردن پرسنل در این زمینه میباشد[4].

۴-۲-مجموعه دوم: اهداف و استراتژی ها

سپس استراتژی سازمان با توجه به مفاهیم و نگرش‌های جدید رویکرد استراتژی اثربخش در سازمان تعیین می‌شود. [16]

۴-۳-مجموعه سوم: بستر سازی استراتژی با بکار گیری ابزار مدل بلوغ مدیریت فرایندهای کسب و کار پیشنهادی

بعد از تعیین استراتژی و ایجاد ارزش برای استراتژی مذکور، سازمان باید بسترسازی لازم را انجام دهد و در این راستا باید از وجود توانمندسازها اطمینان حاصل نماید و یا بعبارتی مطمئن گردد که تمام منابع ضروری برای رسیدن به استراتژی و پیاده سازی آن را دارا میباشد و یا آنها را بدست خواهد آورد. در این مرحله یعنی حصول اطمینان از وجود توانمند سازها باید مدیران میانی حضور داشته تا هم اطلاعات ورودی را تامین نمایند و هم تعهد کافی در این زمینه را داشته باشند.توانمند سازها جهت پیاده سازی استراتژی در شکل (۲)نشان داده شده است :



شکل(۲): توانمند سازها

آیتم هایی که در هر یک از توانمند سازها باید مورد توجه قرار گیرد به شرح ذیل میباشد:

الف - فرایندها

عبارت "فرایند از استراتژی پیروی می‌کند[1]" بدین معنا است که استراتژی‌ها به کمک فرایندها اجرا می‌شوند یا به عبارتی فرایندها اجرای استراتژی‌ها را پشتیبانی می‌کنند [15] . بنابراین میتوان نتیجه گرفت که فرایندها نقش کلیدی در بین توانمند ساز ها دارا میباشد. لذا گام بعدی، پس از تعیین اهدف استراتژیک و استراتژی سازمان، شناسایی فرایندهای سازمان میباشد و باید آیتم های ذیل در این رابطه مورد بررسی قرار گیرد.[4]

- چه فرایندهایی جهت پیاده سازی استراتژی های انتخاب شده ضروری میباشد؟.(شناسایی فرایند های اصلی جهت رسیدن به استراتژی)
- آیا فرایندهای مذکور تعریف شده اند؟
- اگر پاسخ سوال فوق منفی میباشد ، چگونه باید آن فرایندها ساخته شوند ؟ و چه وقت؟

باید توجه داشت که هر چه قدر فرایندها بهتر مدیریت شوند و سازمان از بلوغ بالاتری در مدیریت فرایندهایش برخوردار باشد، موفقیت فرایندها بیشتر می‌شود و هر چه قدر موفقیت فرایندها بیشتر باشد سازمان موفق‌تر می‌شود بدین معنا که سازمان به استراتژی‌هایش دست پیدا می‌کند [1]. در نتیجه دنیای کسب و کار اینک "مدیریت فرایندها" را به عنوان روش ارزشمند ادامه فعالیت و زندگی پذیرفته است. در این راستا باید فرایندها را متناسب با استراتژی سازمان تغییر و بهبود داد تا بتوان به استراتژی تعیین شده دست پیدا کرد. برای رسیدن به این مقصود، سازمان‌ها با تحولات فرایندی در این پروسه روبرو می‌شوند و باید بتوانند فرایندها را به طور مناسب مدیریت نمایند. بنابراین سازمان‌ها جهت ایجاد تحول فرایند محور و بهره‌برداری از مزایای آن، نیازمند وجود دو گروه از فاکتورها هستند. یکی به فرایند مربوط می‌شود و دیگری به سازمان مرتبط است. که این دو فاکتور در مدل بلوغ مدیریت فرایندهای کسب و کار بهبود داده شده آورده شده است.

بنابراین در این مرحله برای پاسخ به سوالهای فوق و در این بخش بمنظور بستر سازی در زمینه فرایندها میتوان از مدل بلوغ مدیریت فرایندهای کسب و کار بهبود داده شده استفاده نمود که برای هر کدام از فرایندها که اولویت با فرایندهای کلیدی است، جدول ارزیابی بلوغ فرایندها را تکمیل می‌نمایند. پس از تعیین وضعیت بلوغ فعلی فرایندها با در نظر گرفتن استراتژی سازمان و سطح بلوغ سازمان که درگام بعد تعیین می‌شود، وضعیت بلوغ آتی فرایند نیز مشخص می‌شود و تعیین می‌گردد که فرایند باید در چه مرحله از بلوغ قرار گیرد. در این مرحله خانه‌های سفید و خاکستری تیره که نشانه موانع و تنگناها جهت رسیدن به بلوغ فرایندها و در نهایت رسیدن به استراتژی سازمان هستند، مشخص می‌شوند.

لازم به ذکر است در مورد سازمان‌هایی که وظیفه‌گرا هستند و همچنین فرایندهای جدیدی که باید طراحی شوند، وضعیت بلوغ فرایندی صفر در نظر گرفته می‌شود که با در نظر گرفتن استراتژی سازمان و سطح بلوغ سازمانی باید موانع و تگناها جهت رسیدن به سطح بلوغ یک را تعیین نمود و با رفع آنها و درگام‌های بعدی با افزایش بلوغ سازمان، به سطوح بالاتر بلوغ فرایندی ارتقا داد.

سپس سازمان به تکمیل جدول ارزیابی بلوغ سازمان می‌پردازد تا بلوغ فعلی سازمان را جهت قبول تغییرات فرایندی مورد بررسی قراردهد. سپس متناسب با تعیین مرحله بلوغ آتی فرایند، مرحله بلوغ آتی سازمان نیز تعیین شود. در این قسمت نیز، خانه‌های سفید و خاکستری تیره که نشانه موانع و تنگناها جهت رسیدن به بلوغ سازمان و در نهایت رسیدن به استراتژی سازمان است، نیز مشخص می‌شوند. بر اساس خانه‌های سفید و خاکستری تیره، برنامه‌ها و پروژه‌های استراتژیک لازم جهت رفع موانع و تنگناها و افزایش بلوغ فرایندها و سازمان و در نهایت رسیدن به استراتژی سازمان تعیین می‌شوند.

ب-ظرفیت هوشی سازمان-ایجاد سازمان یادگیرنده

آیتم های مرتبط با ظرفیت هوشی سازمان که همان کارکنان سازمان میباشد در مدل بلوغ مدیریت فرایندهای کسب و کار بهبود داده شده در نظر گرفته شده است . در واقع ارتباط بین

1-Process Follows Strategy

فرایندها و کارکنان در مدل مذکور در نظر گرفته شده است که شامل موارد ذیل میباشد:[4]

•تشویق کارکنان به یادگیری و رشد

•ایجاد فرایندی بمنظور جذب و تشریک دانش کسب شده

•در نظرگرفتن این سوال مهم :" آیا ما کارکنان با صلاحیت را در اختیار داریم؟"

•اگر پاسخ سوال فوق منفی میباشد ، چه تغییراتی را باید در سازمان اعمال شود.(کارکنان، فرایند استخدام و نگهداری کارکنان) .

براساس موارد فوق و پیشنهاد های ارائه شده در این زمینه، ، برنامه ها و پروژه های استراتژیک تعیین میگردد.

ج-تکنولوژی ها

آیتم های مرتبط با تکنولوژی ها که در ذیل آورده شده است [4]در مدل بلوغ مدیریت فرایندهای کسب و کار بهبود داده شده در نظر گرفته شده است که به شرح ذیل میباشد:.

• چه تکنولوژی هایی جهت پیاده سازی استراتژی های انتخاب شده ضروری میباشد؟

• آیا سازمان در حال حاضر تخصص های مرتبط به آن تکنولوژی ها را دارا میباشد؟

• اگر پاسخ سوال فوق منفی میباشد، چگونه سازمان میتواند به آن تخصص ها دست پیدا کند؟ و چه وقت؟

براساس موارد فوق و پیشنهاد های ارائه شده در این زمینه ، برنامه ها و پروژه های استراتژیک تعیین میگردد

د-ساختار سازمانی

با تغییرات فرایندی در سازمان، ساختار سازمانی نیز تغییر می‌کند[1]که موارد ذیل در این زمینه باید مورد توجه قرار گیرد[4]:

• آیا ساختار سازمانی موجود جهت پیاده سازی استراتژی صحیح میباشد؟

•اگر پاسخ سوال فوق منفی میباشد، چه ساختار سازمانی دیگری باید جایگزین آن گردد؟

•چگونه باید ساختار سازمانی موجود را به ساختار سازمانی مذکور تغییر داد؟ و چه وقت؟

سپس با پاسخ به سوالات فوق، برنامه ها و پروژه های استراتژیک تعیین میگردد

هـ-روابط خارجی سازمان

در نظر گرفتن روابط خارجی جهت پیاده سازی استراتژی سازمان ضروری میباشد که شامل آیتمهای ذیل میباشد[4]:

•چه روابط برون سازمانی جهت پیاده سازی های استراتژی های انتخاب شده ضروری میباشد؟

•آیا در حال حاضر سازمان این روابط برون سازمانی را برقرار کرده است؟

•اگر چنین است، چگومه میتوان این روابط را بهبود بخشید؟

•اگر پاسخ سوال منفی میباشد، چگونه میتوان روابط مذکور را برقرار نمود؟ و چه وقت؟

با پاسخ به سوالات و ارائه راهکارها، برنامه ها و پروژه‌های استراتژیک تعیین میگردد.

و-منابع مالی و سرمایه ای

منابع مالی و سرمایه ای نقش کلیدی در پیاده سازی استراتژی ها دارا میباشد:[4]

•آیا سازمان منابع مالی لازم جهت پیاده سازی استراتژی را دارا میباشد؟

•اگر پاسخ سوال منفی میباشد، چگونه میتوان منابع مالی لازم را فراهم نمود ؟ و چگونه؟

ارائه راهکار ها در این زمینه منجر به تعیین برنامه ها و پروژه‌های استراتژیک میگردد.مرحله بسترسازی و اجرای استراتژی ها که با بکار گیری ابزار مدل بلوغ مدیریت فرایندهای کسب و کار بهبود داده شده صورت میگیرد استراتژی های تدوین شده را به مرحله اجرا می گذاردکه خروجی این مرحله تعداد بسیار زیادی برنامه ها و پروژه های استراتژیک می‌باشد.

۴-۴-مجموعه چهارم: برنامه ها و پروژه ها

پس از تعیین برنامه ها و پروژه های استراتژیک در هر مرحله و همچنین برنامه های غیر استراتژیک نسبت به اولویت بندی و زمان بندی آنها جهت اجرا در سازمان اقدام شده و بودجه بندی پروژه ها صورت میگیرد.

۴-۵-مجموعه پنجم: پایش و تحلیل نتایج

جهت پیاده سازی استراتژی ، پایش یکی از ضرورتهای اصلی میباشد.مدیران باید برنامه های تاکتیکی خود را مورد پایش قرار دهند. و مدیر استراتژیک سازمان باید برنامه استراتژیک را مورد پایش قرار دهد.در صورت عدم پیاده سازی استراتژی طبق برنامه چند گزینه وجود دارد: تغییر استراتژی، تغییر اجرای استراتژی و یا تغییر موعد اتمام .[5]در نهایت، باید فرایند برنامه ریزی در هر بازنگری تنظیم شود. در بازنگری‌های برنامه استراتژیک باید به گذشته برگشت و سوالهایی پرسیده شود: " چه کارهایی خوب پیش رفتند؟" ، چه تغییراتی برای دوره بعدی پیشنهاد میشود؟ تغییراتی که باعث بهبود برنامه گردد. با تنظیم نمودن [1]مناسب برنامه استراتژیک سازمان، برنامه مذکور بیشتر با نیازمندی های خاص سازمان تطابق پیدا میکند.[5](شکل ۳).

۴-۶-مجموعه ششم:مهارتها

جهت اجرای موفقیت آمیز استراتژی ها و همچنین انجام برنامه‌ها و پروژه های استراتژیک که در مرحله قبل تعیین گردید به چهار مهارت بنیادین نیاز است:

الف) مهارت تعامل [2] : که عبارتست از توانایی اداره کردن افراد طی اجرای استراتژی. مدیرانی که ترس ها و ناامیدی های سایرین در رابطه با اجرای یک استراتژی جدید را درک می کنند، آمادگی این را دارند که بهترین اجرا کننده باشند. این مدیران تأکیدشان بر اعضای سازمان و گفتگو برای یافتن بهترین روش به اجرا درآوردن استراتژی است.

ب) مهارت تخصیص[3] :که عبارتست از توانایی تهیه و تدارک منابع سازمانی ضروری برای اجرای یک استراتژی. مجریان موفق استراتژی ها دارای استعداد زیادی در برنامه ریزی امور، بودجه بندی مالی و زمانی و تخصیص سایر منابع بحرانی می باشند.

ج) مهارت نظارت [4] :که عبارتست ار توانایی استفاده از اطلاعات برای مشخص کردن این امر که آیا مانعی بر سر اجرای استراتژی به وجود آمده است یا خیر . مجریان استراتژی ها در صورتی موفق می‌شوند که سیستم‌های بازخور اطلاعاتی بوجود آورند و پیوسته از وضعیت اجرای استراتژی ها گزارش بگیرند.

د) مهارت های سازماندهی[5]: عبارتست از توانایی ایجاد یک شبکه از افراد در سرتاسر سازمان که می توانند به هنگام بروز مشکل در اجرای استراتژی، به حل آن مشکل کمک کنند. مجریان موفق این شبکه را طوری طراحی می کنند تا افرادای را که در بر می‌گیرند، بتوانند از عهده انواع خاصی از مشکلات قابل پیش بینی برآیند.به طور کلی، اجرای موفقیت آمیز یک استراتژی نیازمند افراد کارآمد، تخصیص منابع موردنیاز، نظارت بر روند اجرا و حل به موقع مشکلات برخاسته طی اجرا می باشند و شاید بتوان گفت که تجربه ثابت کرده است که دانستن اینکه چه افرادی می توانند مشکلات را حل کنند و قادرند به محض بروز مشکلات به رفع آنها بپردازند، از مهمترین ضروریات می باشد[6].

۵-اعتبارسنجی

اعتبارسنجی مدل به روش پرسشنامه‌ای انجام گردیده است. تحلیل آماری به کمک آزمون فرض صورت گرفته و از آنجا که تعداد جامعه مورد نظر محدود بوده و جامعه دارای توزیع مشخصی نیست، آزمون بکارگرفته شده در این مرحله آزمون ویلکاکسون[6] برای یک جامعه بوده که برای مقایسه میانگین‌ها استفاده می‌شود. آزمون فرض به تفکیک هر یک از سوالات پرسش‌نامه با فرض‌های ذیل صورت گرفته است[14]:

فقدان اعتبار مدل و الگوریتم پیشنهادی به ازای پرسش مورد نظر $H_0 \quad \mu \leq \mu_0$

اعتبار مدل و الگوریتم پیشنهادی به ازای پرسش مورد نظر $H_1 \quad \mu > \mu_0$

سوال‌های پرسشنامه همگی از نوع مرتبه‌ای هستند. گزینه‌های پرسشنامه به ترتیب درجه اهمیت از ۴ به ۱ امتیازبندی شده‌اند. برای هر پرسش میانگین گزینه‌ها به عنوان میانگین جامعه در آن پرسش در نظر گرفته شده (در این جا ۲/۵)است. سپس با کمک نرم‌افزار Statgraph-Plus آزمون ویلکاکسون(٪۵=&) انجام شده که نتایج آزمون فرض نشان میدهد که فرض H1 به ازای هر سوال مورد پذیرش بوده لذا مدل و الگوریم پیشنهادی معتبر میباشند.

1-Fine Tune
2- Intracting skill
3-Allocating skill
4-Monitoring skill
5-Organising skill
6-Wilcoxon

۶-نتیجه گیری

با توجه به اهمیت استراتژی‌ها و توانمند ساختن سازمان‌ها جهت رسیدن به این استراتژی ها، ارائه الگوریتم‌هایی که مارا در این زمینه یاری نماید، امری ضروری است. که در این تحقیق از رویکرد مدل‌های بلوغ فرایندهای کسب و کار استفاده شده که طی دو مرحله بهبود داده شده تا بتوان از آنها در سازمانهای ایرانی استفاده نمود. امید است در آینده از سایر رویکردهای کاربردی استفاده گردد.

مراجع

[1]	نعمتی راحله، ارائه الگوریتم برنامه‌ریزی استراتژیک با رویکرد مهندسی مجدد فرایندها، تدبیر، آبان ماه ۱۳۸۸
[2]	Michael Melenovsky and Jim Sinur, "Having a BPM Maturity Model is Important for Long Lasting BPM Success," Business Rules Journal, Vol. 7, No. 12 (Dec. 2006), URL: http://www.BRCommunity.com/a2006/b325.html
[3]	BPM Group Maturity Model-www.psclipper.com/**BPMGroupMaturityModel**. URL: asp
[4]	Reinventing the –Strategy 21™: "Article adapted from Bill "Planning Process Strategic Birnbaum's new book, Strategic Thinking: A Four Piece Puzzle
[5]	Implementing Your Business Strategy, By Bill Birnbaum, CMC
[6]	مدیریت استراتژیک-حسین وفایی-کارشناسی ارشد مدیریت آموزشی http://www.vefagh.co.ir/article/articles.php?num=۸۹۵
[۷]	Jeston, John; Nelis, Johan; **Business Process Management,** 1st edition, published by Elsevier, India :printed and bound at Rajkamal Electric Press,2006
[۸]	Fisher, David M.; **The Business Process Maturity Model: A Practical Approach for Identifying Opportunities for Optimization**, Business Process Trends, [Online] Available: http://www.bptrends.com/ September 2004
[۹]	Smith , Howard ; Fingar , Peter ; **The Third Wave:.Process Management Maturity Models**, Business Process Trends, [Online] Available: http://www.bptrends.com/ July 2004
[۱۰]	Rummler Brache Group, **Process Performance Index**, [Online] Available :www.rummlerbrache.com
[11]	Curtis, Bill ; Alden, John; **Business Process Improvement Guided By the BPMM** , Business Process Trends.[Online], Available: http://www.bptrends.com/ Nov. 2006
[12]	گردآورنده: بنیاد اروپایی مدیریت کیفیت، تعالی سازمان ها، ترجمه: گرامی محمدرضا-نورعلیزاده حمیدرضا، تهران، انتشارات آهار، ۱۳۸۴
[13]	همر مایکل، ممیزی فرایند، نشریه گزیده مدیریت،ترجمه :رضایی نژاد عبدالرضا، سال هشتم، شماره هفتاد و یکم،۹۷-۸۷
[14]	فروند جان-والپول رانلد، آمار ریاضی، ترجمه :عمیدی علی-وحیدی اصل محمد قاسم، تهران، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، چاپ پنجم ،۱۳۷۷
[15]	Schmidt , SL. ; Trreichler ,C.; **A Process based View and its Influence On Strategic Management** , Knowledge and process management .V.5.N.1.John Wiley & sons Ltd and Cornwallis Emmanuel Ltd,1998
[16]	[illegible]

بیوگرافی

خانم راحله نعمتی دارای مدرک کارشناسی مهندسی صنایع (گرایش برنامه ریزی و تحلیل سیستمها) از دانشگاه الزهرا در سال ۱۳۸۱ و کارشناسی ارشد مهندسی صنایع (گرایش مدیریت سیستم و بهره‌وری) از دانشگاه صنعتی امیرکبیر در سال ۱۳۸۷ می‌باشد. ایشان از آبان ماه سال ۱۳۸۰ به عنوان کارشناس برنامه ریزی و کنترل پروژه با SBU آب وابنیه شرکت قدس نیرو همکاری نموده اند.

ایشان علاوه بر کار در زمینه برنامه‌ریزی و کنترل پروژه طرح های سازه های آبی ،بعنوان ممیز داخلی سیستم مدیریت کیفیت، سیستم مدیریت زیست محیطی و سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت‌حرفه ای (HSE) در شرکت قدس نیرو فعالیت کرده اند.

علاقمندی خانم نعمتی پیاده سازی سیستم‌های مدیریتی و تحقیق و بررسی در زمینه مدیریت استراتژیک، مدیریت فرایندهای کسب و کار (BPM) و مهندسی مجدد فرایندهای کسب و کار (BPR) می‌باشد.

Email: *Rnematii @ ghods-niroo.com*

جدول (۳):جدول ارزیابی بلوغ فرایندها- بهبود یافته

تسهیل کننده ها / سطوح بلوغ		پی.یک	پی.دو	پی.سه	پی.چهار
۱-طراحی	هدف	فرایند به صورت کامل طراحی نشده است. مدیران حوزه ها از طرح موروثی به عنوان زمینه ای برای بهبود عملکرد حوزه خود استفاده میکنند.	فرایند به صورت سراسری و به منظور بهینه سازی عملکرد طراحی شده است.	فرایند به گونه ای طراحی شده است که با دیگر فرایندهای سازمان و نظام فناوری اطلاعات آن همخوانی دارد تا به عملکرد بهینه برسند.	فرایند به گونه طراحی شده است که با فرایندهای مشتریان و تامین کنندگان شرکت هم خوانی دارد تا به عملکرد بهینه برسند.
	زمینه	درونداد، برونداد، تامین کننده و مشتری فرایند شناسایی و مشخص شده اند.	نیازها و خواسته های مشتریان فرایند مورد شناسایی و توافق قرار گرفته اند.	صاحبکار فرایند با دیگر صاحبکاران فرایند های مرتبط انتظارات و اهداف را هماهنگ کرده اند.	صاحبکار فرایند با صاحبکاران فرایندهای مرتبط مشتریان و تامین کنندگان انتظارات و اهداف را هماهنگ کرده اند.
	مستندات	اسناد فرایند به صورت مقدماتی تهیه و عملیاتی شده اند و ارتباطات درون سازمانی دست اندرکاران فرایند مشخص شده است.	اسناد کامل و سراسر فرایند آماده است.	مستندات فرایند حاوی تعریف روش های ارتباطی و انتظارات سایر فرایندها و پیوند آنها با ساختار نظام داده های سازمان است.	طراحی الکترونیک و نرم افزاری فرایند پشتیبان عملکرد و مدیریت آن بوده و امکان میدهد تحولات محیطی و ساختاری تحلیل شوند.
	همسویی با استراتژی	طراحی فرایندهای جدید با هدف بهبود در سطح عملیاتی انجام میشود.	طراحی فرایندهای جدید بر اساس شناسایی فرایندهایی که در جهت رسیدن به استراتژی گلوگاه هستند انجام میشود.	طراحی فرایندهای جدید بر اساس شناسایی فرایندهای گلوگاه و همچنین شناسایی تغییرات فرایندی ناشی از تغییر استراتژی سازمان انجام میشود.	طراحی فرایندهای جدید علاوه بر شناسایی موارد ذکر شده در مراحل قبلی براساس برنامه بهبود فرایندها که از استراتژی سازمان سرچشمه می‌گیرد انجام می‌شود
۲-کنندگان کار	دانش	کنندگان کار میتوانند حد و حدود ، تام فرایند و معیارهای اصلی اندازه گیری عملکرد آن را مشخص نمایند.	کنندگان کار میتوانند چگونگی جریان فعالیت ها را شرح دهند؛کارشان چگونه بر دیگران تاثیر میگذارد و عملکرد اصلی در چه سطحی است.	کنندگان کار با هردو مفهوم سنتی و نوین کسب و کار آشنایند و میتوانند توضیح دهند فرایند ایشان چه تاثیری بر دیگر فرایندها و وضعیت کل شرکت دارد.	کنندگان کار با روند تحولات صنعت خود آشنایند و میتوانند توضیح دهند کار ایشان چه تاثیری بر عملکرد شرکت دارد.
	مهارت	کنندگان کار در فنون حل مساله و بهسازی فرایندها مهارت دارند.	کنندگان کار در فعالیتهای تیمی و مدیریت بر خود ماهر هستند.	کنندگان کار در تصمیم گیری های حرفه خود مهارت خوبی دارند.	کنندگان کار در مدیریت تحول و رویارویی با آن مهارت دارند.
	رفتار	کنندگان کار تا حدودی به فرایند وفادار شده اند ولی همچنان به فعالیتهای وظیفه ای خود توجه دارند.	کنندگان کار میکوشند بر پایه طراحی فرایند پیش روند و راه انجام کار دیگران را نیز به نحو موثر هموار نمایند.	کنندگان کار میکوشند مطمئن شوند فرایندها نتیجه لازم برای رسیدن شرکت به هدف های برگزیده را به بار خواهند آورد.	کنندگان کار در پی فرارسیدن فرصت تحول در فرایندها و بهسازی آنها هستند.

ادامه جدول(۳): جدول ارزیابی بلوغ فرایندها- بهبود یافته

تسهیل کننده ها / سطوح بلوغ		پی.یک	پی.دو	پی.سه	پی.چهار
۳-صاحب کار	هویت	صاحب کار ،فرد یا گروهی است که به صورت غیر رسمی مسئول بهسازی عملکرد فرایندهاست.	رهبری سازمان رسماً صاحب کار را تعریف کرده و فرد مناسبی از مدیران ارشد را بدان گماشته است.	اولویت نخست صاحبکار در زمینه تخصیص وقت، مشارکت فکری و هدف گذاری ، فرایند است.	صاحب کار عضو بالاترین ارگان تصمیم گیری سازمان است.
	فعالیتها	صاحب کار ، فرایند را مشخص و مستند سازی میکند ، آن ار برای همه کنندگان تبیین میکند و از تغییرات در مقیاس کوچک پشتیبانی میکند.	صاحب کار، هدف ها وچشم انداز مورد انتظار در عملکرد فرایند را مشخص کرده و روند رسیدن به آن ها را طراحی کرده است.	صاحب کار با دیگر صاحبکاران در زمینه یکپارچه سازی فعالیت ها به منظور رسیدن به اهداف سازمان همکاری میکند.	صاحب کار با دیگر صاحبکاران در زمینه برگزیدن راهبردی که مشتریان و تامین کنندگان به پشتیبانی فرایندها وادارد، همکاری میکند.
	اختیارات	صاحب کار تبلیغ فرایند محوری میکند، ولی تنها کارش تشویق مدیران وظیفه گرا به پذیرش تحول و دگرگونی است.	صاحب کار ، اختیار تشکیل یک تیم فرایندی و پیاده سازی طرح بازمهندسی شده را دارد . تا حدودی فناوری و بودجه کار را مهم اختیار دارد.	صاحب کار ، نظام های فناوری اطلاعات پشتیبان فرایندها را کنترل میکند و نظارتی هم بر گزینش نیروها و بودجه دارد.	صاحب کار کنترل بودجه فرایند را در دست دارد و برگزینش نیروها و ارزیابی ایشان اثر مستقیم میگذارد.
۴-زیرساخت	نظام اطلاعات	سیستم های ابتدایی و جدا از هم اطلاعات، از فرایند پشتیبانی میکند.	یک سیستم فناوری اطلاعات ساخته شده از بخشهای وظیفه ای برقرار است.	یک نظام اطلاعات یکپارچه با درنظر گرفتن نیازهای فرایند ایجاد شده تا از بهسازی آن طبق استاندارد پشتیبانی کند.	یک نظام اطلاعات واحدمند (ماجولار) برابر با استاندارد صنعت برای پشتیبانی از فرایند و ارتباطات آن ایجاد شده است.
	نظام های منابع انسانی	مدیران وظیفه گرا ،مدیریت و پاداش دهی فعالیتهای وضیفه ای را در قالب فرایند به عهده دارند.	مبنای تعیین نقش،طراحی شغل و آموزش، اسناد طرح فرایند محور است.	نظام های استخدام ،پرورش نیروها ، پاداش دهی و تقدیر بر پایه نیازها و هدف های فرایند تنظیم و تراز شده اند.	نظام های استخدام ، پرورش نیروها ، پاداش دهی و تقدیر ، آمادگی پذیرش تحولات سازمانی و یادگیری نیروها را دارند.
۵-معیارها	تعریف	فرایند برخوردار از برخی معیارهای تشخیص هزینه و کیفیت است.	مدیران، معیارها را برای پیگیری چگونگی عملکرد و شناسایی ریشه عملکردهای ناقص به کار میگیرند.	معیارهای ارزیابی فرایند و مقایسه فرایندها با هم و با توجه به اهداف استراتژیک سازمان تعین شده اند.	معیارهای ارزیابی فرایند ناشی از اهداف سازمان هستند.
	کاربردها	فرایند دارای معیارهای سراسری بر پایه خواست و نیازهای مشتری است.	مدیران معیارها را به منظور مقایسه عملکرد با اهداف و خواست و نیازهای مشتری به کار میگیرند.	معیارهای عملکرد فرایندها در زمینه انگیزش نیروها را مدیران تعیین می کنند و همین معیارها را در فعالیت های روزمره هم به کار میبرند.	مدیران پیوسته در معیارهای عملکرد بازنگری کرده و آنها را در برنامه ریزی راهبردی دخالت میدهند.

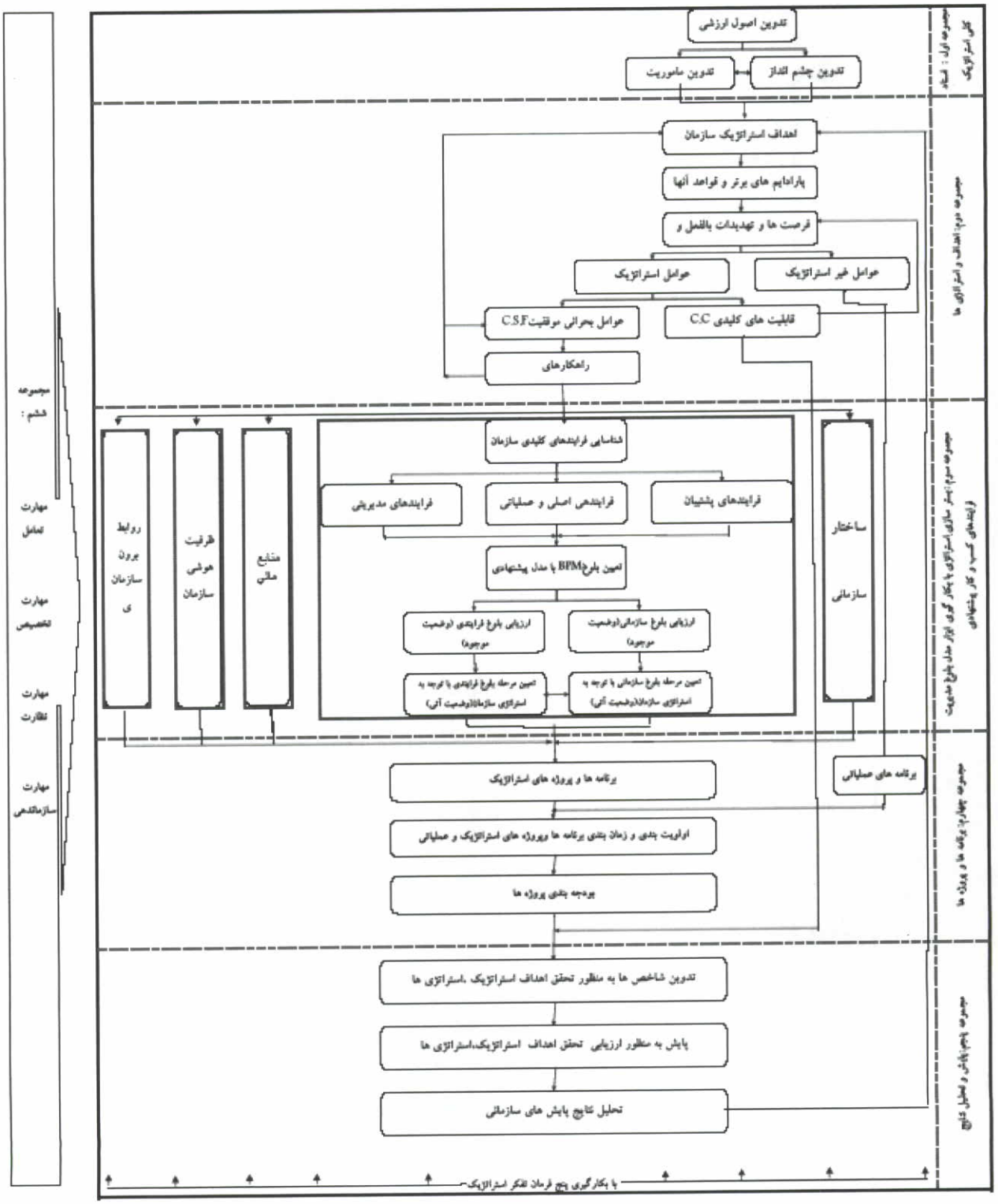
جدول(۴):جدول ارزیابی بلوغ سازمان- ارتقا یافته نسبت به مدلی که نگارنده قبلا ارائه داده است

توانمندی ها / سطوح بلوغ		ای.یک	ای.دو	ای.سه	ای.چهار
۱-رهبری	آگاهی	تیم مدیریت ارشد شرکت نیاز به بهسازی عملکرد را احساس میکند ولی شناخت اندکی از توانمندی فرایندهای کسب و کار دارد.	دست کم یکی از مدیران ارشد سازمان با مفهوم فرایند آشنایی کامل دارد. شرکت میتواند از وجود وی برای بهسازی عملکرد استفاده کند .	تیم مدیریت ارشد، سازمان را از دید فرایند می نگرد و چشم انداز فرایندها و بنگاه را برگزیده است.	تیم مدیریت ارشد وظیفه خود را فرایند گرایی دانسته و این را برنامه راه هایی ادامه کسب و کار میداند.
	هم سویی	رهبری برنامه فرایند گرایی از گروه مدیران میانی شرکت است.	یکی از مدیران ارشد مسئولیت و رهبری برنامه فرایند گرایی را عهده دار است.	در تیم مدیریت ارشد همسویی کامل درباره فرایند گرایی وجود دارد . در میان کارکنان هم شبکه ای طرفدار برنامه وجود دارد.	نیروها در سراسر سازمان به فرایندگرایی علاقه و اشتیاق نشان میدهند و در پیشبرد این کوشش نقش دارند.
	رفتار	یکی از مدیران ارشد تصویب و راه اندازی برنامه بهسازی را به عهده گرفته است.	یکی از مدیران ارشد آشکارا از اهداف قابل گسترش ،تامین منابع،تن دادن به تحولات بنیادی و رفع موانع پشتیبانی میکند.	مدیران ارشد به صورت تیمی در فعالیتهای فرایندمحوری مشارکت فعالانه دارند.	اعضای تیم مدیریت ارشد کارهای خود را هم به صورت فرایندی انجام میدهند و در پیشرفت برنامه کوشا هستند.
	سبک	گروه مدیریت ارشد به جای شیوه مدیریت از بالا به پایین،شیوه باز و همکاری را پیش گرفته است.	گروه مدیریت ارشد رهبری فرایندها، با شور و اشتیاق وافر به برنامه تحول پیوسته اقدام میکند	تیم مدیریت ارشد اختیارات لازم را به صاحب کارها و کنندگان کار تفویض کرده اند.	تیم مدیریت ارشد در چارچوب چشم انداز برگزیده کار میکند و به جای فرماندهی و پایش، رهبری میکند.
۲-فرهنگ	کار تیمی	اداره پروژه ها به صورت تیمی،مقطعی و عینی است.	شرکت گاهی هم از تیم هایی استفاده میکند که از مرزهای وظیفه ای عبور میکنند.	کار تیمی به صورت هنجار در میان کارکنان درآمده و مدیران هم بدان اعتقاد دارند.	کار تیمی با مشتریان و تامین کنندگان رایج است.
	مشتری مداری	به عقیده همگان مشتری مداری مهم است . ولی به معنای آن کم تر توجه میشود . در روش برآوردن نیاز مشتری هم اختلاف نظر وجود دارد.	کارکنان تشخیص میدهند که وظیفه عمده ایشان، ارائه ارزشهای مشتری پسند است.	کارکنان میدانند که مشتریان به خدمات سراسری و یک پارچه نیاز دارند.	توجه کارکنان بر همکاری با همه دست اندرکاران به منظور برآوردن نیازهای مشتری استوار است.
	مسئولیت	مدیران اختیاردار برنامه رسیدن به نتیجه هستند.	مسئولیت برنامه رسیدن به نتیجه به کارکنان خط مقدم سپرده شده است.	کارکنان خود را در برابر به نتیجه رسیدن فعالیتها مسئول میدانند.	کارکنان در خدمت به مشتری برای خود احساس رسالت میکنند و میکوشند نتیجه بیش از انتظار او باشد.
	نگرش به تحول	نیاز به قبول تغییرات معتدل در سراسر شرکت شکل میگیرد.	کارکنان برای پذیرش تحولات بنیادی در روش انجام کار آماده شده اند.	کارکنان آمادگی پرداختن به تحولات چند جانبه را دارند.	کارکنان به تحول به چشم امری گریزناپذیر مینگرند و به استقبال آن میروند.

ادامه جدول (۴): ارزیابی بلوغ سازمان- ارتقا یافته نسبت به مدلی که نگارنده قبلا ارائه داده است

توانمندی ها / سطوح بلوغ		ای. یک	ای.دو	ای.سه	ای.چهار
۳- تخصص	افراد	گروه کوچکی از کارکنان به قدرت و توان فرایند گرایی اعتقاد راسخ دارند.	گروه خبره ای در زمینه بازطراحی فرایندی ، مدیریت پروژه ،ارتباطات و مدیریت تحول در شرکت هست.	گروه قابل توجهی از افراد مهارت گسترده ای در مدیریت تحول سازمان را دارند.	شرکت گروه بزرگی از نیروهای ماهر در بازطراحی و اجرا ،مدیریت پروژه و مدیریت تحول سراسری سازمان را در اختیار دارد. فرایند رسمی در پیاده سازی آن ها هم موجود است.
	روش	شرکت از یک روش یا بیش تر به منظور حل مسائل اجرایی و برنامه های بهسازی استفاده میکند.	تیم بازطراحی فرایندها به روش مقدماتی این برنامه آشنایی دارد.	شرکت فرایندی رسمی و استاندارد برای بازطراحی فرایندی،اجرا و بهسازی آن ها دارد.	مدیریت فرایندی و بازمهندسی به صورت مهارت کلیدی سازمان درآمده که توان برنامه ریزی تحول، اجرا و نوآوری فرایندها را دارد.
۴- حاکمیت	مدل فرایند	شرکت با پاره ای از فرایندها آشنا شده است.	شرکت مدل کاملی برای پرداختن به فرایند گرایی طرح کرده که مدیران ارشد تصویب کرده اند.	مدل فرایندی شرکت که در سرتاسر سازمان شناخته شده است ، با فناوری ها و معماری داده پردازی سازمان پیوند منسجم دارد.	شرکت مدل فرایند خود را به فعالیت مشتریان و تامین کنندگان تسری داده است . در گزینش راهبردها نیز از همین مدل استفاده میشود.
	پاسخگویی	مدیران حوزه ها مسئول عملکرد و مدیران پروژه ها مسئول بهسازی هستند.	صاحب کارها مسئول فرایندهای مستقل و کمیته پیشبرد مسئول سراسری برنامه فرایند گرایی است.	صاحب کارها خود را در بهسازی عملکرد کل سازمان هم مسئول میدانند	یک شورای فرایندی از مدیریت ارشد مسئول پیشرفت کل فرایندها و عملکرد شرکت بوده و کمیته پیشبرد برای هماهنگی با مشتریان و تامین کنندگان دارد.
	یکپارچگی	یک گروه یا بیش تر طرفدار و پشتیبان فنون بهسازی عملیات هستند.	یک هیات غیر رسمی، هماهنگی مدیریت نیازها و کمیته پیشبرد، مسئولیت تامین منابع را عهده دار است.	یک دفتر رسمی برای مدیریت برنامه ریزی به سرپرستی یکی از اعضای هیات مدیره تشکیل شده و همه پروژه های فرایندی را هماهنگ میکند.	صاحبکاران با همتایان خود در کسب و کارهای مشتریان و تامین کنندگان همکاری دارند تا فرایندها را در سراسر شبکه هماهنگ کنند. همه ابزار و فنون بهسازی به صورت یکپارچه برگزیده و اداره میشوند.
۵- تکنولوژی اطلاعات	ترم افزارها و سخت افزارها	ترم‌افزارها و سخت افزارهای مورد نیاز جهت طراحی و مدلسازی فرایندها موجود است.	ترم‌افزارها و سخت افزارهای مورد نیاز برای طراحی و مدلسازی و کاربرد و اجرای فرایندها موجود است.	ترم‌افزارها و سخت افزارهای مورد نیاز برای طراحی و مدلسازی، کاربرد و اجرای فرایندها و اندازه گیری و کنترل آنها موجود است.	ترم‌افزارها و سخت افزارهای مورد نیاز برای طراحی و مدلسازی، کاربرد و اجرای فرایندها، اندازه گیری و کنترل و ابتکار و بهبود آنها موجود است.
	سیستم های مدیریت اطلاعات	سیستم‌های مدیریت اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی و مدلسازی فرایندها موجود است.	سیستم‌های مدیریت اطلاعات مورد نیاز برای طراحی و مدلسازی و کاربرد و اجرای فرایندها موجود است.	سیستم‌های مدیریت اطلاعات مورد نیاز برای طراحی و مدلسازی، کاربرد و اجرای فرایندها و اندازه گیری و کنترل آنها موجود است.	سیستم‌های مدیریت اطلاعات مورد نیاز برای طراحی و مدلسازی، کاربرد و اجرای فرایندها، اندازه گیری و کنترل و ابتکار و بهبود آنها موجود است.
۶- متدها	-	متدهای مورد نیاز جهت طراحی و مدلسازی فرایندها موجود است	متدهای مورد نیاز برای طراحی و مدلسازی و کاربرد و اجرای فرایندها موجود است	متدهای مورد نیاز برای طراحی و مدلسازی، کاربرد و اجرای فرایندها و اندازه گیری و کنترل آنها موجود است	متدهای مورد نیاز برای طراحی و مدلسازی، کاربرد و اجرای فرایندها، اندازه گیری و کنترل و ابتکار و بهبود آنها موجود است
۷- استراتژی	-	سازمان در برابر تغییرات بازار طی دو یا سه سال واکنش نشان میدهد و عموماً از یک رقیب پیروی میکند.	سازمان در برابر تغییرات بازار طی ۱۲ ماه واکنش نشان میدهد وخود را منطبق میکند.	سازمان در برابر تغییرات بازار طی سه تا شش ماه واکنش نشان میدهد وخود را منطبق میکند.	سازمان توانایی پیش بینی و رهبری بازار را دارد.
۸- ذی نفعان	-	مسئولیتها بمنظور تعیین نیازمندی های ذی نفعان تعیین شده است	مسئولیتها بمنظور تعیین نیازمندی های ذی نفعان تخصیص داده شده و مهمترین نکات جهت تعیین نیازمندی های خصوصیات ذی نفعان مشخص شده است.	پس از تخصیص مسئولیتها و تعیین مهمترین نکات، اهداف کلیدی مرتبط با ذی نفعان تعیین شده و برنامه اقدام توسط ذی نفعان کلیدی مورد موافقت قرار گرفته است. کارهای مقدماتی جهت اطلاع رسانی نیازمندی های ذی نفعان و اقدامات مورد نیاز انجام شده است	بعد از تعیین اهداف و اطلاع رسانی نیازمندی های ذی نفعان ، سازمان فرایندهای ایجاد شده را مورد پایش قرار میدهد و قراردادهای ذی نفعان ایجاد شده، اطلاع رسانی شده و توسط سازمان درک شده است. در نهایت مشخصه های نیازمندی های ذی نفعان به طور دوره ای توسط ذی نفعان مورد بازنگری و پایش قرار میگیرد

شکل(۳): مدیریت استراتژیک با تاکید بر بستر سازی استراتژی



بررسی پدیده مخفی شدن و برگشت فسفات در نیروگاه یزد

حسین حق پرست، حسین نعیمی, زهرا جوکار

کارشناسان ارشد شیمی - نیروگاه سیکل ترکیبی یزد

چکیده

مخفی شدن و برگشت فسفات پدیده ای است که باعث آشفتگی در وضعیت شیمیایی بویلر می شود. این پدیده به این صورت است که فسفات در زمان افزایش بار نگه داشته شده و در زمان کاهش بار آزاد می گردد. مخفی شدن فسفات دلایل متعددی می تواند داشته باشد و حتی تحت شرایط یکسان در بویلرهای مختلف با هم متفاوت است. در این مقاله رخداد مکرر این پدیده در بویلر شماره یک نیروگاه سیکل ترکیبی یزد بررسی می‌گردد و با استفاده از گرافهای مرتبط مونیتور می‌شود و راهکارهایی برای مقابله با این پدیده ارائه می‌گردد. هر چند دلیلی برای خوردگی در اثر مخفی شدن و برگشت فسفات برای واحدهایی که تری سدیم فسفات استفاده می کنند وجود ندارد ولی در صورت بروز این پدیده به علت تشکیل رسوبات زیاد و سخت فسفات با آهن درام در بویلر مخصوصا در نقاطی که شار حرارتی زیاد است، احتمال گرفتگی هارپها و خرابی بویلر وجود دارد. با شناخت عوامل موثر بر وقوع این پدیده می توان از آن جلوگیری نمود و یا از اثرات مخرب آن کاست.

۱-مقدمه

برخی از مواد با افزایش بار بویلر بر روی سطوح حرارتی رسوب می کنند و هنگام کاهش بار بویلر مجدداً حل می شوند و غلظت افزایش می‌یابد. این پدیده در بویلرهای فشار بالا اتفاق می افتد. مخفی شدن فسفات از جمله این پدیده‌ها می باشد که در زمان افزایش بار واحد (یا افزایش فشار واحد)، فسفات در اثر رسوب کردن یا جذب در آب بویلر، نگه داشته می شود و در زمان کاهش بار یا فشار، فسفات نگه داشته شده آزاد می شود که باعث آشفتگی در وضعیت شیمیایی بویلر می گردد. مقدار و شدت مخفی شدن و نیز میزان تغییرات بار واحد مورد نیاز برای اینکه این پدیده روی دهد از یک بویلر تا بویلر دیگر متفاوت می باشد. مخفی شدن فسفات در اصل در نتیجه برهم کنش سدیم فسفات و اکسید آهن است که تولید محصول با حلالیت کم می کند که در نواحی با شار حرارتی زیاد و تحت شرایط بار زیاد رسوب می کند و در بار کمتر و شار حرارتی کمتر رسوب بوجود آمده حل شده و به حالت محلول بر میگردد. در این مقاله وقوع پدیده مخفی شدن فسفات در بویلرهای نیروگاهی بررسی می گردد و به عنوان مطالعه موردی این پدیده در بویلر شماره یک نیروگاه یزد با استفاده از گرافهای مناسب مونیتور می گردد. بروز این پدیده در بویلر شماره یک نیروگاه یزد باعث ایجاد مشکلات در کنترل شیمیایی، دفورمه شدن هارپها سوراخ شدن بویلر و درنهایت از مدار خارج شدن آن گردیده است. که گزارش تفصیلی آن در ادامه مقاله ذکر خواهد شد.

۲-شیمی فسفات

ترکیبات فسفات از جمله آلکالایزرهای جامد هستند که به بویلرهای درام دار فشار بالای نیروگاهی تزریق می شوند تا هم محدوده pH مورد نظر تامین گردد و هم از تشکیل رسوب در بویلر (به علت وجود سختی کلسیم و منیزیم در آب خوراک) جلوگیری به عمل آید. ترکیبات فسفات با سختی کلسیم و منیزیم آب تشکیل رسوبات معلق می دهد که از طریق بلودان از بویلر خارج می گردد. بستگی به نوع رژیم شیمیایی مورد استفاده و فشار بویلر انواع مختلفی از ترکیبات فسفات استفاده می گردد که به طور خلاصه در جدول (۱) فهرست گردیده است. مطالعات زیادی در زمینه شیمی فسفات در دمای بالا انجام شده و نتایج آن در منابع علمی موجود است [1]. در دمای بالا گونه های مختلف فسفات که می توانند در آب وجود داشته باشند آنیونهای ارتوفسفریک اسید، دی هیدروژن فسفات، هیدروژن فسفات و فسفات می باشد. این گونه ها به صورت معادلات زیر با هم در حال تعادل هستند. این معادلات

به علت شرایط قلیایی آب بویلر برای مناسب بودن به صورت واکنش با هیدروکسید نوشته شده اند.

$$H_3PO_4(aq) + OH^-(aq) \leftrightarrow H_2PO_4^-(aq) + H2O(l)$$

$$H_2PO_4^-(aq) + OH\text{-}(aq) \leftrightarrow HPO_4^{2-}(aq) + H2O(l)$$

$$HPO_4^{2-}(aq) + OH\text{-}(aq) \leftrightarrow PO_4^{3-}(aq) + H_2O(l)$$

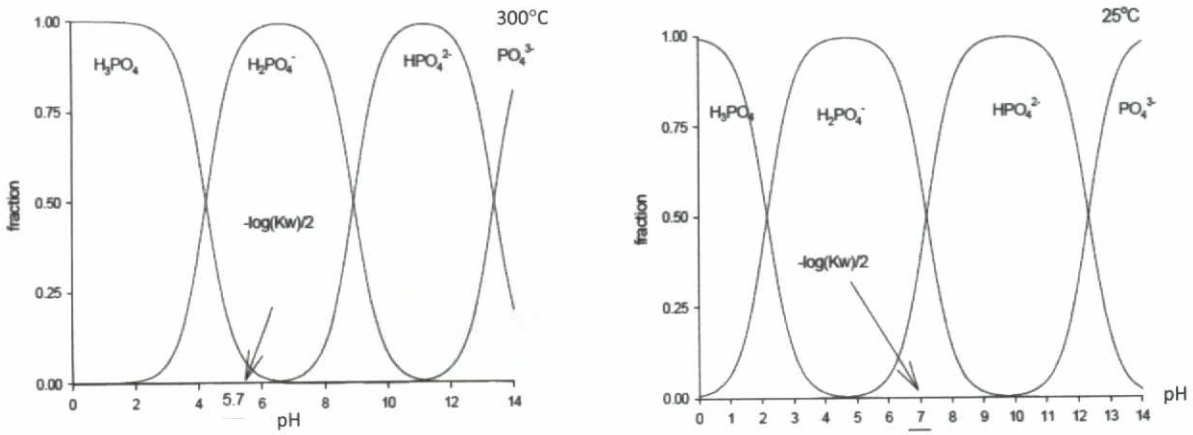
$$H2O(l) \leftrightarrow H+(aq) + OH\text{-}(aq)$$

توزیع گونه های مختلف فسفات در آب بویلر در pH های مختلف در دو دمای ۲۵ درجه و ۳۰۰ درجه در شکل شماره (۱) نشان داده شده است.

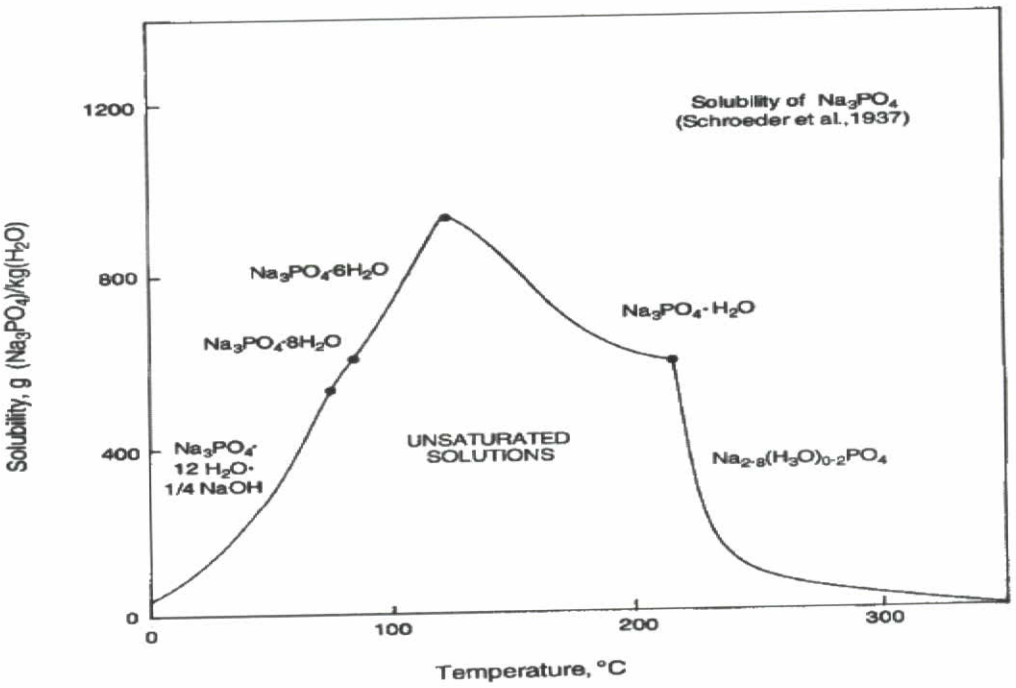
حلالیت تری فسفات سدیم در آب در شکل (۲) نشان داده شده است همانگونه که مشاهده می‌گردد حلالیت آن با افزایش دما در بالای ۱۲۰ درجه کاهش می یابد و در حدود ۳۵۰ درجه به صفر می رسد.

جدول (۱):انواع فسفاتهای مورد استفاده در بویلرها

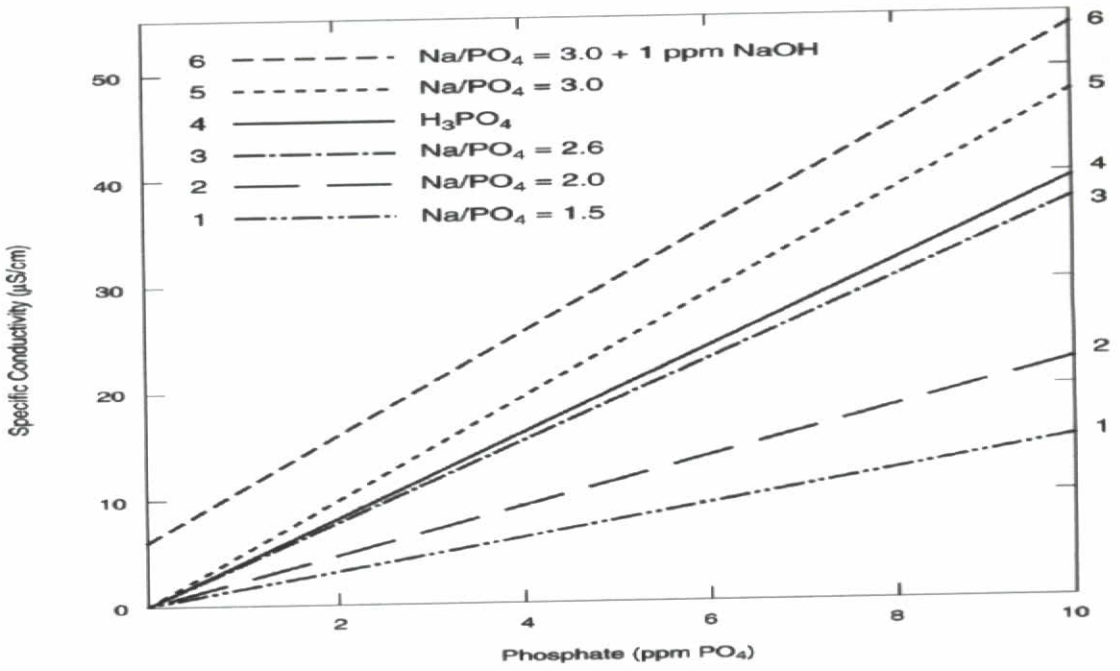
Chemical name	Appearance	pH (1% Soln.)	PO4%	P2O5%	Remark
Trisodium phosphate	12H2O salt : white crystal	12	24.9	18.9	Commonly used
	Anhydride : white powder		57.6	43.2	
Disodium hydrogen phosphate	12H2O salt : white crystal	8.2	26.5	19.9	
	Anhydride : white powder		66.8	50.1	
Sodium dihydrogen phosphate	12H2O salt : white crystal	4.3	60.8	45.6	
	Anhydride : white powder		79.1	59.3	
Sodium hexametaphosphate	White powder or flake	6.0-7.2	93.1	69.9	Hydrolized in boiler water to produce NaH2PO4
Sodium tripolyphosphate	White powder	9.0-9.5	77.5	58.1	Hydrolized in boiler water to produce 2Na2HPO4 and NaH2PO4



شکل (۱): توزیع گونه های مختلف فسفات در دماهای ۲۵ و ۳۰۰ درجه سانتیگراد



شکل (۲): حلالیت تری فسفات سدیم در آب داغ به عنوان تابعی از دما



شکل (۳): نمودار کنداکت به عنوان تابعی از مقدار فسفات

ارتباط بین کنداکتویتی و غلظت فسفات برای گونه‌های مختلف فسفات در شکل(۳) نشان داده شده است با توجه به این که اندازه‌گیری کنداکت سریعتر و آسان‌تر از اندازه گیری میزان غلظت فسفات می‌باشد، می‌توان از آن به عنوان پارامتر شاخص غلظت فسفات مورد استفاده قرار گیرد. افزون بر این امکان اندازه گیری on line و امکان ثبت نتایج به صورت پیوسته وجود دارد.

۳-مخفی شدن فسفات

مطالعات سیستماتیک نشان داده است که مخفی شدن می‌تواند در اثر رسوب فازهای سدیم فسفات در نقاط داغ محلی و زیر رسوبات بوجود آید. در اثر پدیده مخفی شدن فسفات غلظت فسفات بسیار زیاد شده و نوسانات زیاد pH در سایتهای محلی ایجاد می گردد. مخفی شدن فسفات در اصل حاصل بر هم کنش برگشت پذیر تر کیبات سدیم فسفات با اکسید آهن است که یک فراورده ای با حلالیت کم تولید می‌کند که در نواحی با شار حرارتی زیاد یا تحت شرایط بار زیاد رسوب می‌کند و در بارهای کمتر مجدداً این رسوب به حالت محلول در می‌آید. مخفی شدن فسفات به دلیل انجام واکنشهای برگشت پذیر میان فسفات آبکی و مگنتیت می باشد که منجر به تشکیل ترکیبات سدیم آهن فسفات $NaFePO_4$ (ماراشیت) و سدیم آهن هیدروکسی فسفات $Na_4Fe(OH)(PO_4)_2.1/3NaOH$ (به اختصار SIHP) می‌شود. ماراشیت در رسوبات نیروگاهی شناسایی شده است و SIHP تحت شرایط محیطی در حضور آب ناپایدار است و در اثر سرد شدن در آب بویلر مجدداً حل می شود. آزمایشات متعددی نشان داده است که غلظت زیاد سدیم فسفات با لایه مگنتیت تحت شرایط تولید بخار واکنش می دهد. نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد فسفات در یک غلظت آستانه با مگنتیت وارد واکنش می شود و مخفی شدن فسفات زمانی روی می دهد که غلظت فسفات از این مقدار بیشتر شود. واکنشها برگشت پذیر بوده و غلظت آستانه با افزایش دما کاهش میابد. در دمای ۳۲۰ درجه واکنش مخفی شدن تحت شرایطی که نسبت سدیم به فسفات کمتر از ۲/۵ است واکنش تولید ماراشیت آهن II و سدیم آهن III هیدروکسی فسفات می کند (در رابطه ذیل).

$$3\ Fe3O4(s) + 15\ HPO4\ 2\text{-}(aq) + 29\ Na+(aq) \leftrightarrow 3\ NaFeIIPO4(s) + 6\ Na3FeIII(PO4)2.\ (Na4/3H2/3O)(s) + OH\text{-}(aq) + 5\ H2O(l)$$

در نسبتهای سدیم به فسفات بیشتر از ۲/۵ واکنش تشکیل یک جامد محلول آهن II به فرم γ Na3PO4 مکعبی میدهد که واکنش به صورت زیر است:

$$3\ Fe3O4(s) + (20 + 9/x)\ Na+(aq) + (12 + 3/x)\ HPO42\text{-}(aq) + (3/x - 4)\ OH\text{-} \leftrightarrow 6\ Na3FeIII(PO4)2.\ (Na4/3H2/3O)(s) + 3/x\ Na3\text{-}2x\ FeII\ x\ PO4(aq) + (2 + 3/x)\ H2O$$

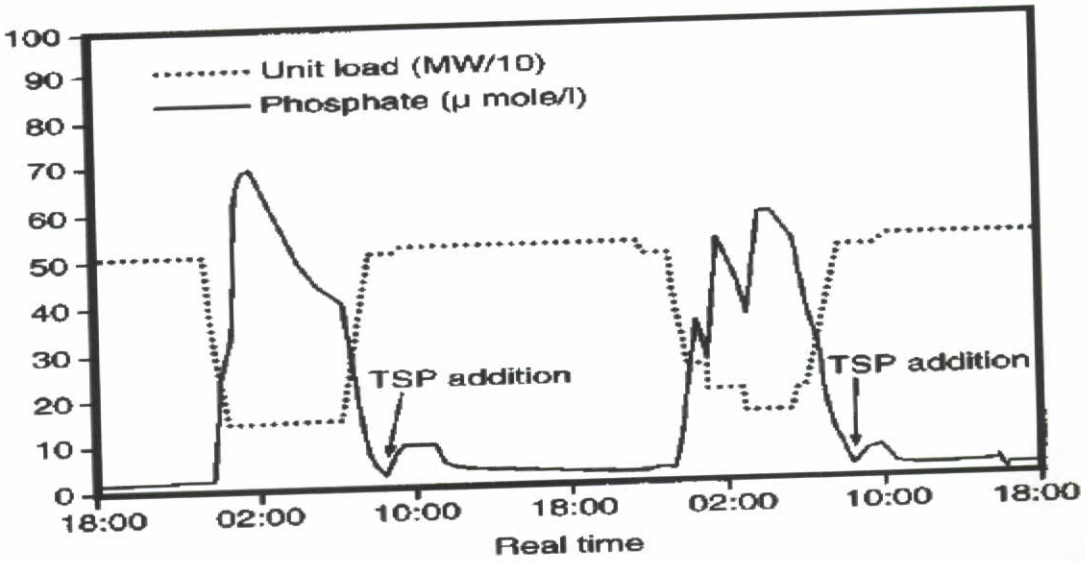
هر بویلر بسته به نوع طراحی و تمیز بودن مقادیر مختلفی از مخفی شدن را از خود نشان می دهد. اگر مخفی شدن فسفات با افزودن تری سدیم فسفات به تنهایی روی دهد پدیده خوردگی مضری نمی تواند اتفاق بیفتد در حالیکه اگر از مونو یا دی سدیم فسفات استفاده شود با پدیده خوردگی اسید فسفات APC روبرو هستیم. در واحدهایی که از مونو و دی سدیم فسفات استفاده می‌کنند که نسبت سدیم به فسفات زیر ۳ است و پدیده مخفی شدن هم داشته اند با خوردگیهای شدیدی در اواپراتورهای بویلر مواجه بوده اند.

۴-روش تشخیص مخفی شدن فسفات

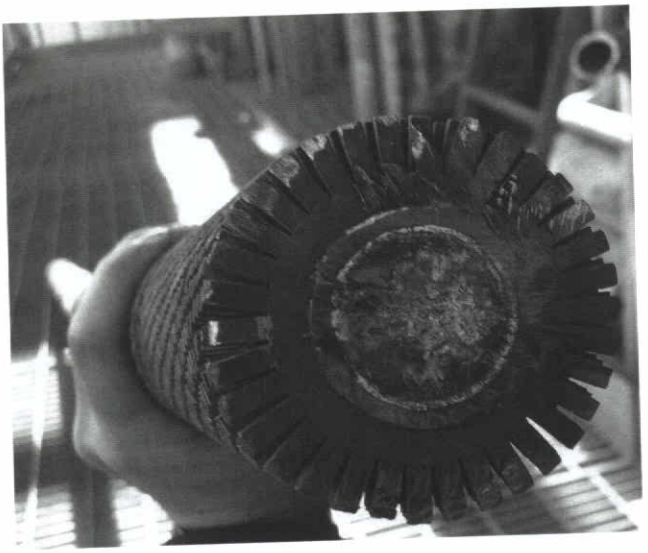
بهترین راه برای تشخیص مخفی شدن فسفات گراف تغییرات بار واحد، فشار واحد، دمای درام، pH درام، فسفات درام (یا کنداکتیویته درام) در یک محدوده زمانی واحد می باشد. این گراف به وضوح نشان خواهد داد که با کاهش بار غلظت فسفات افزایش می یابد. در شکل(۴) تغییرات بار واحد و غلظت فسفات در یک بازه زمانی واحد در بویلری که متحمل این پدیده شده است نشان داده شده است.

۵- مطالعه موردی نیروگاه یزد

نیروگاه سیکل ترکیبی یزد از سال ۱۳۸۴ در مدار قرار دارد که شامل ۲ بویلر بازیاب به همراه مشعل کمکی می باشد و طی چند سال اخیر با خرابیها و مشکلات متعددی مواجه بود. رسوب گرفتگی و مسدودشدن کامل تعدادی هارپها، از فرم افتادن آنها و سوراخ شدن بویلر از جمله مشکلات بوجود آمده

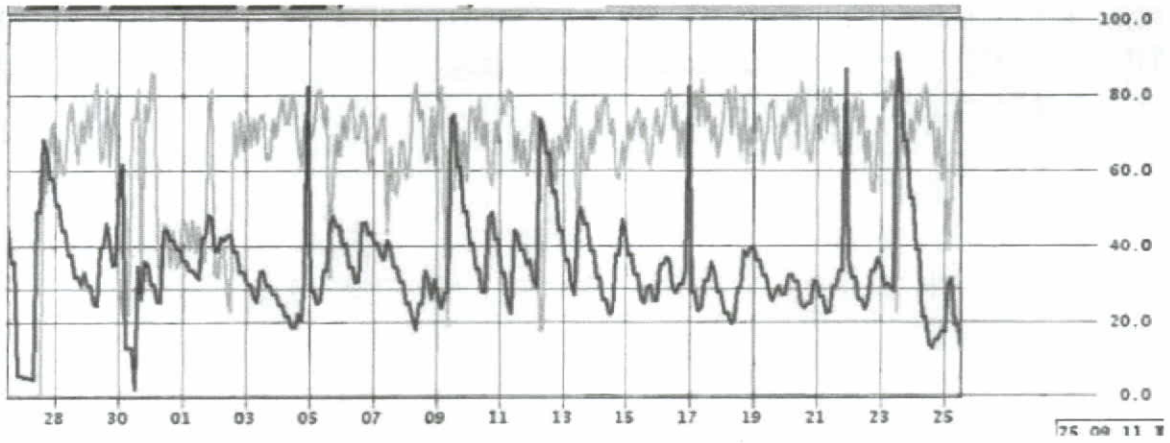


شکل (۴): تغییرات غلظت فسفات با بار واحد در نیروگاهی که متحمل پدیده ی مخفی شدن فسفات شده است

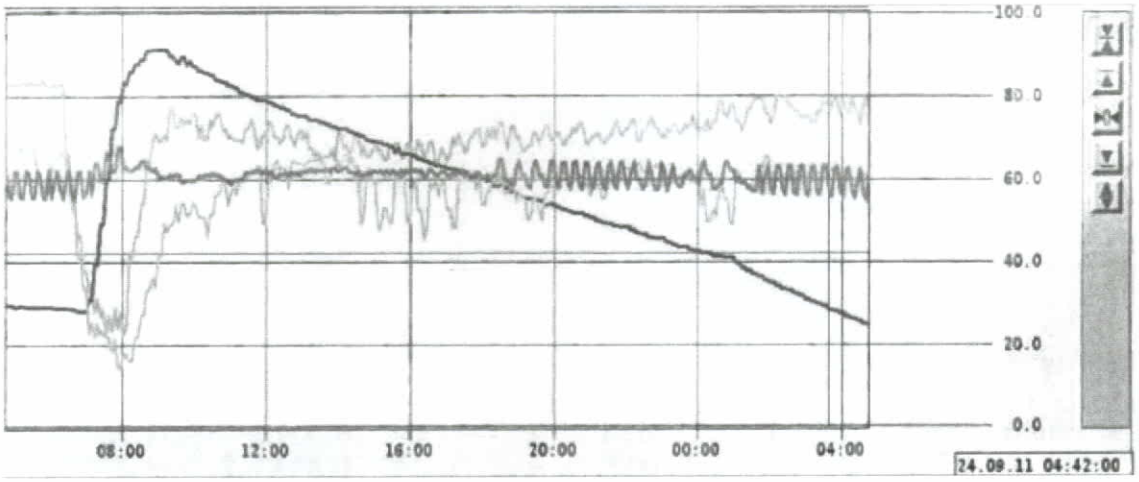


شکل (۵): مسدود شدن کامل یکی از اواپراتورهای HP

در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد بود که باعث کاهش راندمان، افزایش مصرف آب، آشفتگی شرایط شیمیایی بویلر و در مواردی منجر به خروج اضطراری بویلر گردید. بیشترین خرابی مربوط به قسمت هارپهای اواپراتور HP بود. بویلرهای سیکل ترکیبی یزد با تغییرات متعدد در طول شبانه روز مواجه بود که این تغییرات غالبا توسط کاهش یا افزایش نرخ مشعلهای کمکی انجام می گرفت. نمونه رسوب گرفتگی هارپهای اواپراتور در شکل (۵) نشان داده شده است. همچنین در طول شبانه روز با افزایش و کاهش غلظت فسفات و آشفتگی وضعیت شیمیایی درام HP بویلر ۱ مواجه بودیم. بررسیهای اولیه حاکی از مخفی شدن و برگشت فسفات در درام HP بود. آشفتگی در میزان غلظت فسفات درام HP بویلر یک در شکل (۶) نشان داده شده است. در این شکل تغییرات بار واحد و تغییرات کنداکتیویتی آب درام (به عنوان شاخص غلظت فسفات) در یک بازه زمانی واحد رسم شده است. منحنی نارنجی بار واحد و منحنی آبی رنگ کنداکتیویتی درام HP می باشد. محور عمودی درصد هر یک از پارامترها در محدوده انتخاب شده می باشد. مطابق نمودار افزایشهای ناگهانی کنداکت که در مقابل کاهش ناگهانی بار قرار دارد مربوط به برگشت فسفات به حالت محلول می‌باشد.

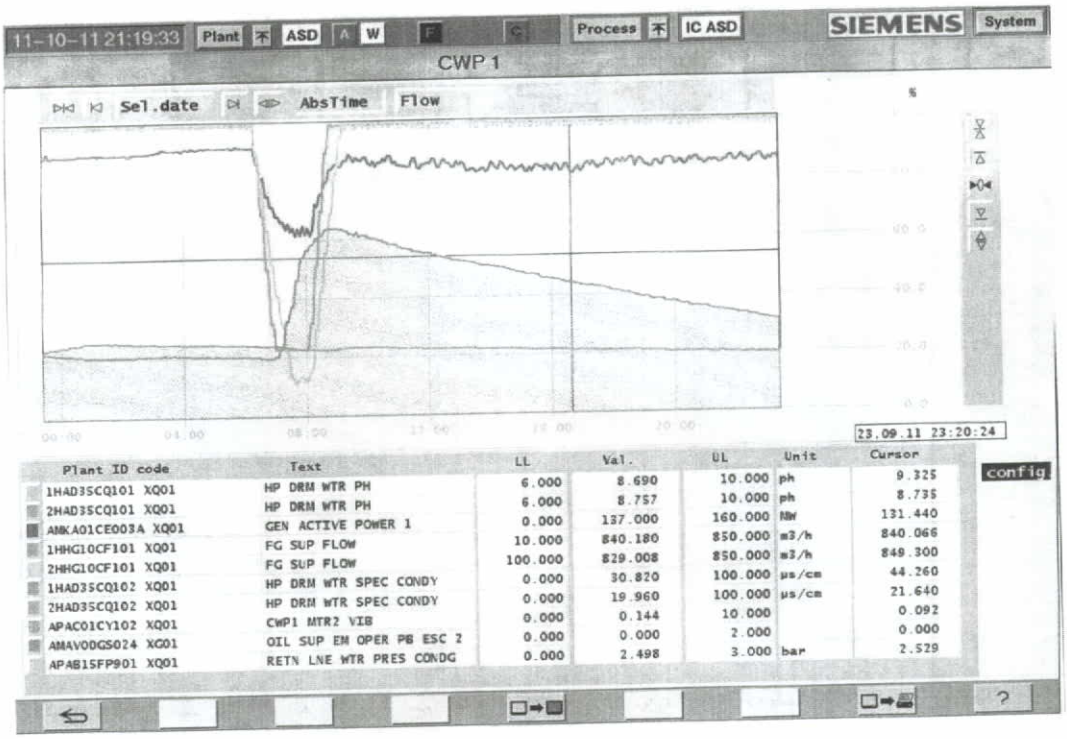


شکل (۶): نمودار تغییرات بار واحد و کنداکتیویتی درام HP با زمان



شکل (۷): تغییرات بار واحد، دما، کنداکتیویتی و pH در یک بازه زمانی که برگشت فسفات رخ داده است

برای بررسی دقیقتر گراف مربوط به پارامترهای بار واحد، دمای متال درام، کنداکتیویته آب درام و pH آب درام برای یکی از پیکهای شکل(۷) رسم گردید. منحنی نارنجی بار واحد، سبز دمای درام، قرمز pH درام و آبی کنداکتیویته درام می باشد. همانگونه که مشاهده می شود همراه با کاهش بار که به علت خارج شدن مشعلهای کمکی می باشد فسفاتهای مخفی شده آزاد شده و با پدیده برگشت فسفات مواجه هستیم. محور افقی زمان می باشد و محور عمودی درصد پارامتر مورد نظر برای مگاوات، دما، کنداکتیویتی و pH می باشد. با کاهش بار واحد از حدود ۱۴۸ مگاوات به حدود ۱۰۰ مگاوات (و پیرو آن فشار واحد نیز کاهش یافته است) دما نیز از حدود ۲۸۰ به حدود ۲۶۰ کاهش یافته است. با کاهش بار فسفاتهای مخفی شده آزاد شده و باعث افزایش کنداکتیویتی درام می شود که در این مورد کنداکت از حدود ۱۸ میکروزیمنس به حدود ۶۳ میکروزیمنس افزایش یافته است. نمودار pH نشاندهنده نوسانی بودن pH بوده و بعد از بررسی مشخص گردید الکترود مربوطه معیوب می باشد. مونیتورینگ پدیده مخفی شدن و برگشت فسفات برای هر دو بویلر نیروگاه سیکل ترکیبی یزد بررسی گردید که بر خلاف انتظار این پدیده فقط برای بویلر۱رخ می داد نمودار مقایسه کنداکت درام بویلر ۱ و ۲ در زمان کاهش بار در شکل(۸) نشان داده شده است. با توجه به اختلاف بویلر ۱ و ۲ تنها پارامتر مختلف بویلر ۱ و ۲ نرخ فلو داکت برنرها بود که در شکل نشان داده شده است ولی با یکسان نمودن نرخ تغییرات فلو گاز برنرها همچنان این اختلاف در افزایش ناگهانی کنداکت دو درام وجود داشت.



شکل (۸): مقایسه تغییرات کنداکتیوتی دو بویلر در زمان کاهش بار

۶- نتیجه و ارائه راهکار

فسفات در غلظتهای بیشتر از یک مقدار آستانه مستعد واکنش با مگنتیت درام و مخفی شدن در زمان کارکرد نرمال بویلر می باشد. محصول واکنش به صورت جامدی نامحلول می باشد که در زمان کاهش بار مجدداً تحت شرایطی به حالت محلول بر می گردد و باعث افزایش ناگهانی غلظت فسفات در درام می‌باشد. در صورت بروز طولانی مدت و مکرر این پدیده امکان رسوب کردن فسفات در هارپها و نواحی که شار حرارتی زیاد است وجود دارد. همچنین تغییرات ناگهانی بار ناشی از در مدار قرار گرفتن برنرها و خارج شدن آنها، تریپ مولد یا خروج آن و وجود اکسید فلز و رسوب بر روی سطوح انتقال حرارت به علت فقدان سیستم پالیشینگ کندانس از جمله دلایل بوجود آمدن این پدیده می باشند. دلایل دیگری نیز برای مخفی شدن فسفات وجود دارد که از جمله استارت بویلر بعد از یک اسید شویی، وضعیت آرایش برنرها ، طراحی بویلر، میزان تمیز بودن بویلر و متریال بویلر می باشد. راهکارهایی برای جلوگیری از بروز مخفی شدن فسفات و یا کاهش اثرات مخرب وجود دارد. حداقل نمودن تغییرات بار واحد برای واحد های سیکل ترکیبی که بر اثر در مدار قرار گرفتن و خارج شدن برنرها می باشد می‌تواند باعث کاهش بروز آن گردد. کنترل شیمیایی مناسب و پائین نگه داشتن غلظت فسفات در حد غلظت کمتر از آستانه باعث جلوگیری از واکنش فسفات با مگنتیت درام و در نتیجه کاهش بروز پدیده مخفی شدن و اثرات مخرب آن می شود. استفاده از سیستم پالیشنگ کندانس جهت حذف اکسیدهای فلز و تمیز کاری آب سیکل اثر قابل توجهی می تواند داشته باشد. شستشوی شیمیایی نیز با حذف اکسیدها و رسوبات موجود اثرات قابل توجهی در کاهش بروز و اثرات مخرب دارد.

تقدیر و تشکر: تهیه کنندگان مقاله از آقایان مهندس مزیدی و غدیری بابت همکاری در تنظیم گرافها تقدیر و تشکر بعمل می آورند.

مراجع

[1] Tremaine P.R., Gray L.G.S., Wiwchar B., Stodola J., and Taylor P. (1992) Sodium phosphate chemistry under high pressure utility drum boiler conditions. *Can. Electrical Assoc. R&D Agreement 913G730, Final*

Report Vol I, 104 pp;Vol II, 196 pp;Vol III, 183 pp.

[2] KURITA handbook of water treatment, second english edition

[3] *Sodium Phosphate Hideout Mechanisms: Data and Models for the Solubility and Redox Behavior of Iron(II) and Iron(III) Sodium-Phosphate Hideout Reaction Products,* EPRI, Palo
Alto, CA: 1999. TR-112137.

[4] *Cycle Chemistry Guidelines for Combined Cycle/Heat Recovery Steam Generators (HRSGs).* EPRI, Palo Alto, CA: 2006. 1010438.

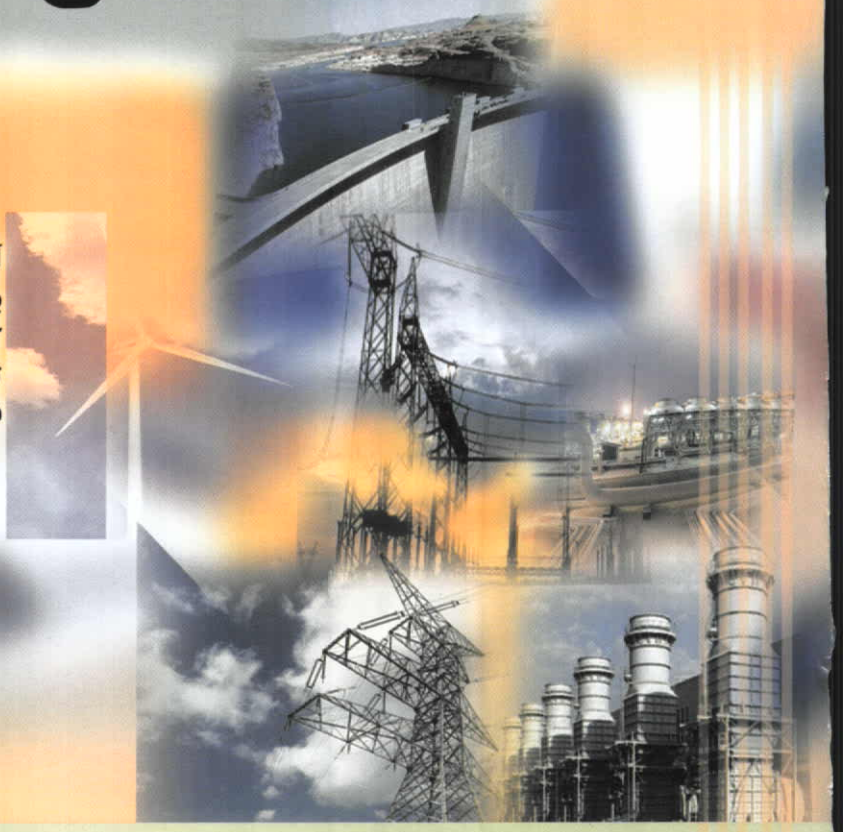
بیوگرافی

آقای حسین حق‌پرست دارای فوق لیسانس مهندسی شیمی از دانشگاه صنعتی شریف بوده و جمعاً ۱۰ سال سابقه کار دارد. ایشان در حال حاضر کارشناس ارشد شیمی‌دفتر فنی شرکت مدیریت تولید برق یزد می‌باشد. زمینه علاقمندی آقای حق‌پرست روش‌های مختلف تصفیه آب می‌باشد.

Email: *hhaghparast @ yhaoo.com*

GHODS NIROO ENGINEERING COMPANY

شرکت مهندسی قدس نیرو



آدرس: تهران . خیابان استاد مطهری،
بعد از چهارراه سهروردی، شماره ۸۲
کدپستی: ۱۵۶۶۷۷۵۳۵۳
تلفن : ۸۸۴۰۳۶۱۳- ۸۲۴۰۴۰۰۰
فاکس :۸۸۴۱۱۷۰۴

No, 82 Ostad Motahari Ave
Tehran 1566775353/IRAN
Tel: (+9821) 88403613-82404000
Fax: (+9821) 88411704
www.ghods-niroo.com

شرکت مهندسی قدس نیرو

با بیش از ۳۵ سال سابقه درخشان

خدمات مشاوره، مهندسی و طراحی جزئیات، تهیه مشخصات فنی ، نظارت عالی، نظارت بر اجرا و راه اندازی پروژه‌ها و مدیریت اجرایی را در زمینه‌های زیر ارائه می نماید :

- نیروگاههای حرارتی (بخاری، گازی و سیکل ترکیبی)
- انرژیهای تجدیدپذیر (بادی، خورشیدی.....) و بهینه سازی انرژی
- پست‌های فشار قوی
- خطوط انتقال نیرو، شبکه های توزیع نیروی برق و مطالعات سیستم
- سدها و نیروگاههای برق آبی، شبکه‌های آبیاری و زهکشی
- مطالعات زیست‌محیطی
- خطوط انتقال نفت و گاز
- همکاری با کارفرمایان به صورت مدیریت پیمان "MC"
- اجرا و یا همکاری در پروژه‌های بزرگ به صورت "EPC"

GHODS NIROO ENGINEERING COMPANY(GNEC)

GNEC provides engineering & consultancy services, detail design, rendering technical specifications, project management and site & technical supervisory services in the following fields:

- Power plants (Steam, Gas Turbine & Combined Cycle)
- Renewable Energies(Wind, Solar,.....) Energy Reclamation
- Substations & SwitchYards
- Transmission Lines, Distribution Networks & System Studies
- Dams & Hydropower Plants, Water Transmission Lines, Irrigation & Drainage Networks.
- Environmental Studies
- Oil & Gas Transmission Lines
- Cooperation with Clients in Management of Contract "MC"
- Execution or Participation in major "EPC" Contracts

ISO 9001 DNV REGISTERED FIRM | ISO 14001 DNV REGISTERED FIRM | OHSAS 18001 DNV REGISTERED FIRM | 4★ RECOGNISED FOR EXCELLENCE EFQM

تهران ، خیابان استاد مطهری ، چهارراه سهروردی ، شماره ۸۲
کدپستی : ۱۵۶۶۷۷۵۳۵۳
تلفن : ۸۸۴۰۳۶۱۳ - ۸۸۴۳۰۴۵۴
فکس : ۸۸۴۱۱۷۰۴

No.82 , Ostad Motahari Ave.
Tehran 1566775353 - IRAN
Tel: 88403613 - 88430454
Fax: 88411704

info@ghods-niroo.com
www.ghods-niroo.com